

République algérienne démocratique et populaire.  
Ministère de L'enseignement Supérieure de la recherche scientifique.  
Université 8 Mai 45 –Guelma-  
Faculté des Mathématiques, d'informatique et des Sciences de la Matière  
Département d'Informatique



**Mémoire de Fin d'études Master**

**Filière :** Informatique

**Option :** Science et technologie de l'information et de la communication.

**Thème :**

---

**Détection et Analyse de l'Engagement des Étudiants à l'aide du Suivi  
Oculaire**

---

**Présenté par :** *Touahri Sirine*

**membres du jury :**

- **Président :** Dr. Brahim Said
- **Encadreur :** Dr. Bendjebar Safia
- **Examineur :** Dr. Chaoui Mohamed

**Juin 2024**

# Remerciements

*Au nom de la grâce d'Allah, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Tout d'abord, je suis reconnaissant envers **Allah** pour m'avoir accordé la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien cette recherche, et de la terminer de manière satisfaisante.*

*Je voudrais exprimer ma reconnaissance la plus chaleureuse à Mme **Safia Benjebbar**, mon encadrante, qui a été bien plus qu'une conseillère. Sa bienveillance et son écoute attentive ont été une source d'inspiration constante. Son soutien inconditionnel et ses conseils éclairés ont grandement enrichi ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au membres de **jury** pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant la responsabilité d'examiner ce travail .*

*Je dois remercier notre chef de département Dr **Kouahla Zineddine** pour leur soutien et leur encouragement tout au long de cette recherche. Les professeurs de l'Université de 8 Mai 1945 méritent également toute ma reconnaissance pour m'avoir formé et guidé pendant ces cinq années d'études enrichissantes.*

*Je souhaite exprimer ma gratitude envers le Dr **Adel Boughida** pour son précieux soutien tout au long de la réalisation de ce travail. Sa disponibilité et ses conseils avisés ont été d'une aide inestimable.*

*Un grand merci s'adresse également à ma famille universitaire, à mes collègues pour leur encouragement et leur support constant.*

*Enfin, Un grand merci à ma famille pour avoir été présente à chaque étape de mon parcours académique, et pour tout le soutien et l'amour constants que vous m'avez prodigués depuis mon enfance. Que Dieu vous accorde santé, bonheur, et longue vie, et veille à ce que je sois toujours à la hauteur de votre soutien inébranlable.*

# *Dédicaces*

À mon très cher père, **Touahri Azzedine**, l'homme de ma vie, mon soutien moral et ma source de joie. Tu as toujours sacrifié tant pour me voir réussir, et cette réussite est aussi la tienne. Merci, papa, d'être toujours là, un soutien indéfectible tout au long de mes études. Que Dieu te garde pour moi, toujours.

À l'hommage de ma **mère**, Sans toi, maman, je ne serais jamais arrivé jusqu'ici. Je dédie ce travail à ton honneur et à ton amour infini.

À mon frère, **Iyed**, pour ton encouragement constant et ta douceur qui ont illuminé mon chemin.

À mon grand-père **Hamdane**, Ton soutien inconditionnel et ta sagesse ont été mes phares, m'encourageant à viser les sommets les plus élevés de la vie.

À tous mes chers cousins et cousines, spécialement à **Yousra, Amine, Amir et Hamouda**, Votre soutien inébranlable et votre présence constante ont été des piliers essentiels dans mon parcours. Cette réussite est également la vôtre, et je suis profondément reconnaissante de vous avoir comme membres de ma famille. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon oncle **Khali Pilou** et à sa femme **Tata Donia**, votre soutien et votre affection ont toujours illuminé ma vie. Cette réussite est aussi le fruit de votre encouragement constant. Je vous suis profondément reconnaissante pour tout ce que vous avez fait pour moi. Merci du fond du cœur.

À mes meilleures amies, **Aicha, Fatima, Oujedene et Lina**. Vous n'êtes pas seulement des amies, mais aussi mes sœurs. Je n'oublierai jamais votre présence réconfortante dans les moments les plus difficiles de ma vie.

À mes voisines, **Tata Nadjette, Adra, Wafa**, pour votre soutien et votre affection précieux.

Enfin, à toute ma famille, à tous ceux qui me sont chers et que j'ai involontairement omis de mentionner, à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans cette entreprise.

Votre soutien et votre amour ont été les fondations sur lesquelles cette réussite repose. Que cette dédicace soit le témoignage de ma gratitude éternelle.

# *Résumé*

Comprendre l'engagement des apprenants est un principe clé en éducation. Cela permet d'adapter les méthodes d'enseignement et les contenus pédagogiques afin de maximiser l'efficacité et la réussite de chaque apprenant. Diverses techniques ont été proposées dans la littérature. Dans ce travail, nous nous intéressons à l'intégration du modèle de suivi oculaire (eye tracking) comme outil d'extraction de différentes métriques oculaires pour détecter l'engagement des apprenants. Le premier objectif de ce travail est de proposer une structure de présentation du contenu pédagogique. Cette structure permettra de maximiser la quantité d'informations pertinentes capturées par le modèle. Le deuxième objectif est de détecter le moment d'engagement des apprenants pendant son processus d'apprentissage. Des algorithmes de machine learning tels que Random Forest et XG-Boost ont été appliqués pour détecter leurs engagements en temps réel. L'ensemble de ces propositions a été mis en œuvre dans notre système E-track learning. Cette étude ouvre des nouvelles perspectives pour l'enseignement personnalisé et d'adaptation de contenu de manière continue.

**Mots clés :** Eye-tracking, Mouvement des yeux, Engagement, Attention effective, Comportement visuel, Fixation, Saccade.

# *Abstract*

Understanding learner engagement is a key principle in education. It helps adapt teaching methods and educational content to maximize the effectiveness and success of each student. Various techniques have been proposed in the literature. In this work, we focus on integrating the eye tracking model as a tool for extracting different ocular metrics to detect learner engagement. The first objective of this work is to propose a structure for presenting educational content. This structure aims to maximize the amount of relevant information captured by the model. The second objective is to detect moments of learner engagement during the learning process. Machine learning algorithms, such as Random Forest and XGBoost, have been applied to detect engagement in real-time. All these proposals have been implemented in our E-track Learning system. This study opens new perspectives for personalized teaching and continuous content adaptation, enabling real-time feedback and more tailored learning experiences for students.

**Keywords** :Eye-tracking, Eye movement, Engagement, Effective attention, Visual behavior, Fixation, Saccade.

# Table des matières

Liste des tableaux	iv
Table des figures	vi
Introduction générale	vii
<b>1 Eye tracking dans le système du E-learning</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction	2
1.2 Historique	2
1.3 Eye tracking	3
1.3.1 Définition du Eye tracking	3
1.3.2 Les dispositifs du Eye tracking	3
1.4 Types de suivie oculaire :	4
1.5 Domaines applications	5
1.6 Les métriques d'Eye tracking	7
1.7 Eye tracking dans le e-learnig	8
1.7.1 E-learning	8
1.7.2 Application du Eye tracking dans le e-learning	8
1.7.3 Analyse des travaux	9
1.8 Conclusion	9
<b>2 L'Engagement des apprenants dans le système E-learning</b>	<b>11</b>
2.1 Introduction	11
2.2 Définition de l'engagement	11
2.3 Théories de l'engagement	12
2.4 Les dimensions de l'engagement	12
2.5 Mesurer l'engagement	13
2.6 Types d'engagement dans l'apprentissage en ligne	13
2.6.1 Engagement de l'apprenant au contenu :	13
2.6.2 Engagement apprenant-instructeur :	14
2.6.3 Engagement apprenant à apprenant :	14
2.7 Evaluation de l'engagement	14
2.7.1 Tableau de bord d'apprentissage pour évaluer l'engagement	14
2.7.2 Les learning analytics pour améliorer l'engagement	17
2.8 Analyse des travaux	17
2.9 Conclusion	18

<b>3</b>	<b>Conception du Système</b>	<b>19</b>
3.1	Introduction . . . . .	19
3.2	Objectifs du système . . . . .	19
3.3	Architecture du système . . . . .	20
3.3.1	Architecture globale du système . . . . .	20
3.3.2	Architecture fonctionnelle du système . . . . .	20
3.3.3	Les acteurs du système . . . . .	21
3.3.4	Modules offerts par système E-Track Learning . . . . .	22
3.4	La structure de la base de données . . . . .	25
3.4.1	Dictionnaire de données . . . . .	25
3.4.2	Liste des entités . . . . .	27
3.4.3	Modèle conceptuel de données (MCD) . . . . .	30
3.4.4	Liste des relations . . . . .	30
3.4.5	Modèle logique de données (MLD) . . . . .	30
3.5	Conclusion . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Implémentation et Expérimentation du Système</b>	<b>32</b>
4.1	Introduction . . . . .	32
4.2	Les Langages de programmation . . . . .	32
4.2.1	PHP . . . . .	32
4.2.2	Java Script . . . . .	32
4.2.3	Python . . . . .	33
4.2.4	Bootstrap . . . . .	33
4.2.5	HTML . . . . .	33
4.2.6	CSS . . . . .	34
4.3	Les outils de développement . . . . .	34
4.3.1	Visual Studio Code . . . . .	34
4.3.2	XAMPP . . . . .	34
4.3.3	MySQL . . . . .	34
4.4	Présentation du Système . . . . .	34
4.4.1	Logo . . . . .	34
4.4.2	L'interface principale . . . . .	35
4.4.3	Connexion au système . . . . .	35
4.4.4	Inscription au système . . . . .	36
4.4.5	Les différents espaces du système . . . . .	37
4.5	Expérimentations . . . . .	48
4.6	Conclusion . . . . .	48
	<b>Conclusion générale</b>	<b>49</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>54</b>
	<b>Webographie</b>	<b>55</b>
	<b>Annexe</b>	<b>57</b>

# Liste des tableaux

3.1	Dictionnaire de données. . . . .	27
3.2	Liste des entités. . . . .	29
3.3	Liste des relations. . . . .	30

# Table des figures

1.1	les premiers dispositifs pour le suivi oculaire[Coco, 2022] . . . . .	4
1.2	Une illustration des différents types de configurations de suivi oculaire [Valtakari <i>et al.</i> , 2021] . . . . .	5
1.3	Etude de suivi du regard « eye tracking » sur l’autisme [W2]. . . . .	6
1.4	Exemple de détection de mouvement des yeux durant l’apprentissage [W3].	6
1.5	La stratégie de scanne d’une page web avec l’oeil [W4]. . . . .	7
1.6	Nombre total de publications de 1968 à 2018[Carter et Luke, 2020]. . . . .	9
2.1	les types d’interaction [Martin et Bolliger, 2018]. . . . .	13
2.2	Tableau de bord GLASS [Leony <i>et al.</i> , 2012]. . . . .	15
2.3	Tableau de bord Competency Maps [Grann et Bushway, 2014]. . . . .	16
2.4	Tableau de bord de la plate-forme Canvas [Coffrin <i>et al.</i> , 2014]. . . . .	16
3.1	Architecture globale du système E-Track Learning. . . . .	20
3.2	Architecture fonctionnelle du système E-Track Learning. . . . .	21
3.3	Processus de l’approche proposée . . . . .	23
3.4	Processus de Détection d’Engagement avec Random Forest et XGBoost. . .	24
3.5	Modèle conceptuel de données. . . . .	30
4.1	Exemple d’utilisation du java script. . . . .	33
4.2	Logo du site. . . . .	35
4.3	L’interface principale du système. . . . .	35
4.4	La page de connexion des utilisateurs. . . . .	36
4.5	La page d’inscription des étudiants. . . . .	36
4.6	La page d’inscription des enseignants. . . . .	37
4.7	La page d’accueil de l’espace administrateur. . . . .	37
4.8	La page de confirmation des étudiants. . . . .	38
4.9	La page de confirmation des enseignants. . . . .	38
4.10	Liste des étudiants. . . . .	38
4.11	Liste des enseignants. . . . .	39
4.12	La page d’envoi de message. . . . .	39
4.13	La page d’accueil de l’espace enseignant. . . . .	40
4.14	Profil Personnel de l’enseignant. . . . .	40
4.15	Liste des modules. . . . .	41
4.16	Liste des cours. . . . .	41
4.17	Liste des tests. . . . .	41
4.18	Les notes des étudiants. . . . .	42
4.19	La creation de groupe . . . . .	42
4.20	List des groupes. . . . .	42
4.21	Members de groupe. . . . .	43

4.22	Les résultats. . . . .	43
4.23	La messagerie. . . . .	43
4.24	La page d'accueil de l'espace étudiant. . . . .	44
4.25	Modifie le Profil Personnel de l'étudiant. . . . .	44
4.26	Liste module . . . . .	45
4.27	La page de test. . . . .	45
4.28	Exemple de detection de suivi oculaire dans un cours. . . . .	45
4.29	La page de test. . . . .	46
4.30	Notes du tests . . . . .	46
4.31	La solution du test. . . . .	46
4.32	Liste des groupes. . . . .	47
4.33	Résultats de l'engegements. . . . .	47
4.34	Répondre a un message . . . . .	47
4.35	Tests d'utilisation. . . . .	48

# Introduction générale

Dans le domaine de la technologie éducative, comprendre l'engagement des apprenants est crucial pour optimiser le processus d'apprentissage et adapter l'enseignement aux besoins individuels des apprenants. La littérature distingue divers types d'engagement, notamment l'engagement comportemental, cognitif et émotionnel. Dans cette recherche, nous nous concentrons sur la détection de l'engagement sur le contenu pédagogique. Cette approche, qui évalue l'engagement sur l'ensemble de la session d'apprentissage plutôt que sur des objets d'apprentissage individuels, offre une compréhension plus complète et personnalisée de la façon dont les apprenants interagissent avec le matériel pédagogique. En tenant compte des interactions spécifiques au contenu, des caractéristiques des apprenants et de la difficulté du contenu, l'analyse du contenu pédagogique permet d'identifier des patterns d'engagement plus précis et pertinents. Cette approche permet de mieux comprendre les processus d'apprentissage des apprenants et d'adapter l'enseignement en conséquence. Pour obtenir une analyse approfondie du contenu pédagogique, nous avons intégré un modèle d'analyse de mouvement des yeux (*Eye Tracking* en anglais). L'observation des mouvements oculaires des apprenants et le suivi de leur comportement constituent une méthode efficace pour évaluer ces différences. En effet, l'analyse de ce dernier s'avère être un moyen précieux pour comprendre leur niveau de compréhension, car elle peut révéler des informations importantes sur les processus cognitifs qui reflète à leurs actions. Cette technologie offre un certain nombre d'avantages par rapport aux méthodes traditionnelles d'évaluation de l'engagement, telles que les questionnaires, les observations, etc. De ce fait, nous avons adopté le modèle *WebGazer.js* à notre plateforme. Cette librairie JavaScript open-source permet d'analyser l'engagement des apprenants en ligne. En agrégeant les données sur la vitesse de lecture, la fixation et la fréquence des saccades, nous pouvons comprendre comment les apprenants traitent l'information et interagissent avec le contenu des supports de formation. Cette proposition aide les enseignants à identifier les moments de la session où l'engagement est le plus élevé ou le plus faible en temps réel. Ces informations précieuses permettent d'adapter l'enseignement en fonction de l'état d'engagement des apprenants et de maximiser leur apprentissage. Plusieurs questions de recherche peuvent être posées :

- Quels sont les indicateurs spécifiques de suivi oculaire obtenus par WebGazer qui sont les plus révélateurs d'une attention efficace lors des activités d'apprentissage en ligne ?
- Comment les données de suivi oculaire peuvent-elles être intégrées avec d'autres données d'interaction pour fournir une analyse plus complète de l'engagement des apprenants ?

En explorant ces questions, nous espérons apporter une contribution significative à la compréhension de l'engagement des apprenants en ligne et à l'optimisation des processus d'apprentissage. A partir des données d'interaction, de test et du mouvement oculaire, nous avons utilisé deux algorithmes de machine learning les plus populaires : *Random Forest* et *Xgboost* pour classifier l'engagement des apprenants. Ces modèles nous ont permis d'obtenir des insights précieux sur les facteurs qui influent sur l'engagement des

apprenants et sur les stratégies d'enseignement les plus efficaces pour les encourager. Pour réussir la conception et la mise en œuvre de notre plateforme d'apprentissage, nous avons organisé le travail en quatre chapitres distincts :

1. Le premier chapitre commence par un aperçu sur *Eye tracking dans le système du E-learning*. Cette section explore divers concepts liés aux techniques de suivi oculaire et leur application dans le domaine de e-learning. Une synthèse des travaux existants dans ce domaine est également réalisée.
2. Dans le deuxième chapitre, nous présentons tout d'abord l'engagement et leur dimension. Ensuite, nous nous concentrons sur les nouvelles techniques innovantes visant à améliorer l'engagement des apprenants dans les environnements d'apprentissage en ligne. En plus, nous donnons un état de l'art sur les travaux liés à l'engagement des apprenants.
3. Dans le troisième chapitre, nous détaillons l'approche que nous proposons pour détecter l'engagement des apprenants. Nous exposons l'architecture globale et fonctionnelle du système, ainsi que les différentes composantes qui la constituent. Ce chapitre est dédié à la description approfondie de notre approche proposée.
4. Le dernier chapitre est consacré à l'implémentation et à la validation de notre outil. Nous présentons en détail tous les outils d'assistance développés, ainsi que les interfaces utilisées. Deux expérimentations ont été menées pour valider notre approche, dont les résultats et les analyses sont discutés dans ce chapitre.

À la fin, nous concluons notre recherche par une synthèse générale, accompagnée de propositions visant à améliorer notre système dans un avenir proche.

# Chapitre 1

## Eye tracking dans le système du E-learning

### 1.1 Introduction

Au cours de ces dernières années, Eye tracking a été largement établi et utilisé dans les domaines de la psychologie, des neurosciences, de l'interaction homme-machine, des tests d'utilisabilité et du marketing. En analysant les mouvements oculaires, Il peut fournir des informations sur la façon dont les gens interagissent avec des stimuli visuels, tels que des images, des vidéos et des sites web. Son succès attire continuellement de nouvelles disciplines explorant de nouvelles applications. Le suivie oculaire permet aux chercheurs de comprendre le fonctionnement du système d'attention visuelle humaine et, par conséquent, d'obtenir des informations plus précises sur le fonctionnement des humains. L'eye tracking est devenu un outil précieux pour la recherche et les applications pratiques, offrant des perspectives uniques sur le comportement humain et ouvrant la voie à de nouvelles avancées dans de nombreux domaines. Ce chapitre présente un aperçu de la littérature sur Eye tracking, en présentant un aperçu historique sur ses différentes technologies et on définit les concepts de base et les différentes métriques utilisées. Par la suite, quelques travaux du eye tracking dans le e-learning ont été analysés à la fin de ce chapitre.

### 1.2 Historique

Le eye tracking est une méthode de recherche qui mesure les mouvements des yeux lorsque quelqu'un regarde quelque chose. Son histoire d'après [Płużyczka, 2018] est peut être divisée en trois phases :

- La première phase a débuté à la fin du XIXe siècle, lorsque des chercheurs ont commencé à étudier les mouvements oculaires pendant la lecture. L'ophtalmologiste français Louis Émile Javal a été l'un des premiers à décrire ces mouvements. Cependant, la méthode utilisée à l'époque n'était pas très précise, et les chercheurs se fiaient à des observations normales.
- La deuxième phase a commencé dans les années 1950, lorsque la technologie du eye tracking est devenue plus avancée. Les chercheurs ont utilisé des caméras pour filmer les mouvements des yeux pendant que les gens accomplissent différentes tâches, comme conduire ou piloter. Cette approche, a permis aux chercheurs d'étudier comment les yeux se déplacent en fonction de ce que les gens font.

- La troisième phase a débuté dans les années 1970, quand les chercheurs ont commencé à examiner comment la façon dont nous percevons les choses est liée à ce qui se passe dans notre tête. Cela a aidé à construire les bases de la psychologie cognitive. À ce moment-là, la technologie du suivi oculaire est devenue moins gênante pour les yeux. Les chercheurs ont alors pu mesurer non seulement les mouvements des yeux de gauche à droite, mais aussi de haut en bas.

Aujourd'hui, la technologie du eye tracking est largement utilisée dans divers domaines, et le nombre d'articles publiés sur le eye tracking a considérablement augmenté au fil des ans. Du domaine de la linguistique à celui des arts et des sciences humaines.

## 1.3 Eye tracking

### 1.3.1 Définition du Eye tracking

- Eye tracking est un concept général qui décrit un certain nombre de processus liés à la surveillance et la mesure de l'activité oculaire. Ceux-ci peuvent être liés au suivi de la localisation spatiale de l'œil par rapport à la tête, du mouvement des yeux et du niveau de fermeture des paupières, de la taille et de l'activité des pupilles, et de la direction du regard [Hammoud, 2008]
- Une autre définition proposée par [Poole et Ball, 2006] « *Le suivi oculaire (Eye Tracking - ET) est une technologie qui sert à voir où une personne regarde à un moment donné et comment ses yeux se déplacent d'un endroit à un autre. L'idée est de comprendre exactement où se pose le regard et comment il se déplace d'une manière instantanée* ». En d'autres termes, cela nous aide à savoir où vont les yeux à chaque instant, ce qui donne des informations sur comment les gens regardent les choses .
- En résumé, on peut dire que : « *L'eye tracking, ou suivi oculaire, est un ensemble de technologies qui analysent le comportement visuel d'une personne lorsqu'elle observe une image ou un environnement.* »

### 1.3.2 Les dispositifs du Eye tracking

Plusieurs dispositifs ont été proposés pour suivre les yeux. La figure suivante présente un panneau présentant une sélection des premiers dispositifs de suivi oculaire (image de gauche) et des mouvements oculaires acquis (image de droite)(A)[Huey, 1908] (B) [Dodge et Cline, 1901] (C)[Buswell, 1935] (D)[Yarbus, 2013] .

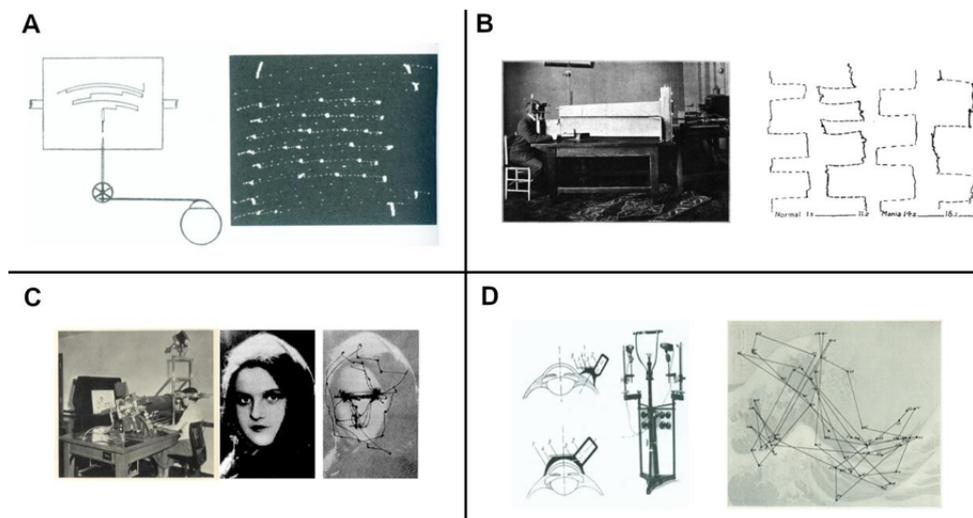


FIGURE 1.1 – les premiers dispositifs pour le suivi oculaire[Coco, 2022] .

Les dispositifs couramment utilisés pour le suivi oculaire incluent :

- Caméras dédiées au suivi oculaire : elles offrent une meilleure précision et exactitude que les webcams standard [Robinault, 2021]. Parmi ses dispositifs on trouve : Tobii Pro, EyeLink, Pupil Labs, etc. Le problème avec ce type de dispositif, elles sont généralement plus chères que les webcams standard.
- Systèmes de suivi oculaire intégrés aux écrans : Ce système utilise les technologies similaires aux caméras dédiées au suivi oculaire pour suivre les mouvements des yeux sans nécessiter de matériel supplémentaire [W1]. Parmi ses système on trouve : Tobii Dynavox PCEye Go, EyeTech™ Eye Gaze System, etc .
- Dispositifs portables : Il permet de suivre les mouvements oculaires dans des environnements réels [W1]. L'utilisateur utilise des lunettes ou des casques de réalité virtuelle, par exemple les lunettes on trouve : Tobii Pro Glasses 3, Oculenz, Google Glass, etc.

Il existe d'autres dispositifs, nous avons mentionné les plus utilisés. Chaque dispositif a ses propres avantages et inconvénients. Le choix du meilleur dispositif dépend de l'application, du coût, de la facilité d'utilisation et de portabilité.

## 1.4 Types de suivie oculaire :

Selon [Valtakari *et al.*, 2021] , Il existe trois principaux types de configurations de suivi oculaire utilisées dans les études d'interaction, en fonction de la liberté de mouvement du participant et de la manière dont les données du regard sont enregistrées (voir figure 2)

- A) Tête libre, référence tête (ex : lunettes oculaires ) : Le participant bouge librement sa tête et les données du regard sont liées à sa tête. Ceci est utile pour étudier des comportements naturels tels que préparer du thé ou se laver les mains, où le regard peut se déplacer librement dans l'environnement.
- B) Tête libre, référence mondiale (ex : caméra fixe) : Dans ce type le participant bouge librement la tête, mais les données du regard sont liées à un point fixe de l'espace (généralement l'écran). Ceci est utile pour étudier la façon dont les gens perçoivent les images ou les interfaces statiques.

- C) Tête fixe, référence mondiale (ex : mentonnière et caméra) : Dans ce dernier type les participants ne peuvent pas bouger la tête, et les données du regard sont liées à un point fixe dans l'espace. Ceci est utile pour des études précises du regard, mais moins naturel pour le comportement quotidien.

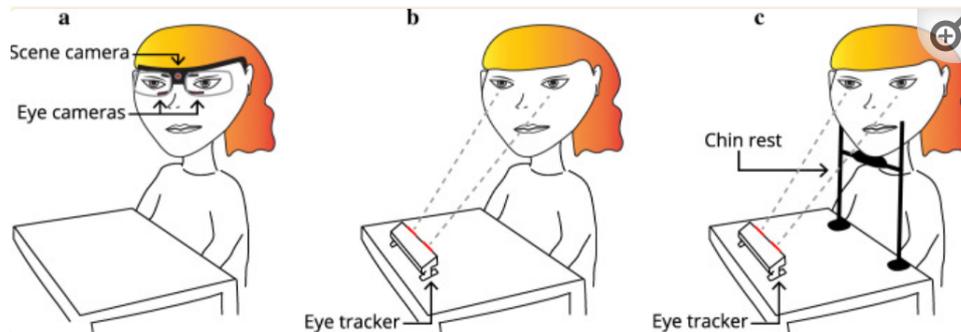


FIGURE 1.2 – Une illustration des différents types de configurations de suivi oculaire [Valtakari *et al.*, 2021] .

## 1.5 Domaines applications

Aujourd'hui, le suivi oculaire trouve une multitude d'applications dans divers domaines par exemple :

### 1. Marketing et communication :

- Pour comprendre le comportement des consommateurs : lorsqu'ils naviguent sur des sites de vente en ligne. Les consommateurs ont besoin de fonctionnalités de personnalisation et d'informations claires et concises sur les produits pour améliorer leur expérience de magasinage en ligne [Boardman et McCormick, 2022].
- Pour optimiser l'impact des supports publicitaires [Cummins, 2017] : L'eye tracking est utilisé pour déterminer quelles parties d'une publicité sont les plus vues et les plus mémorisées. Ces informations sont utilisées pour créer des publicités plus efficaces.

### 2. Santé et médecine :

- Diagnostiquer des troubles du développement et de la vision : L'eye tracking est utilisé pour diagnostiquer des troubles du développement et de la vision. [Vargas-Cuentas *et al.*, 2017] ont utilisé l'eye tracking pour identifier les enfants qui souffrent de troubles du spectre autistique.
- Développer des interfaces pour les personnes handicapées : L'eye tracking est utilisé pour créer des interfaces que les personnes paralysé peuvent utiliser pour contrôler leur ordinateur [Borgestig *et al.*, 2021].
- Détecter l'autisme pour les enfants : Des études ont montré que l'eye tracking peut être utilisé pour identifier des troubles cognitifs, comme le trouble du spectre autistique (TSA). la figure suivante montre une étude sur l'autisme au service explorations fonctionnelles

### 3. Sciences humaines et sociales :

- Comprendre les processus cognitifs : on utilise le ET pour suivre les mouvements oculaires des participants pendant qu'ils effectuent des tâches cognitives, comme la lecture, la résolution de problèmes ou la prise de décision. Cela



FIGURE 1.3 – Etude de suivi du regard « eye tracking » sur l'autisme [W2].

nous permet de mieux comprendre comment les gens traitent l'information et prennent des décisions[Rahal et Fiedler, 2019] .

- Etudier les émotions : le suivi oculaire est utilisé pour mesurer les réactions émotionnelles des participants à différents stimuli, on peut déterminer si un participant est heureux, triste, en colère ou surpris [Lim *et al.*, 2020] .

#### 4. Education et recherche :

- Comprendre les processus d'apprentissage : En surveillant l'attention des apprenants, en évaluant leur compréhension et en analysant leurs stratégies d'apprentissage. Cela permet aux enseignants d'identifier les forces et les faiblesses de chaque élève et de personnaliser l'enseignement en conséquence [Liu, 2014]

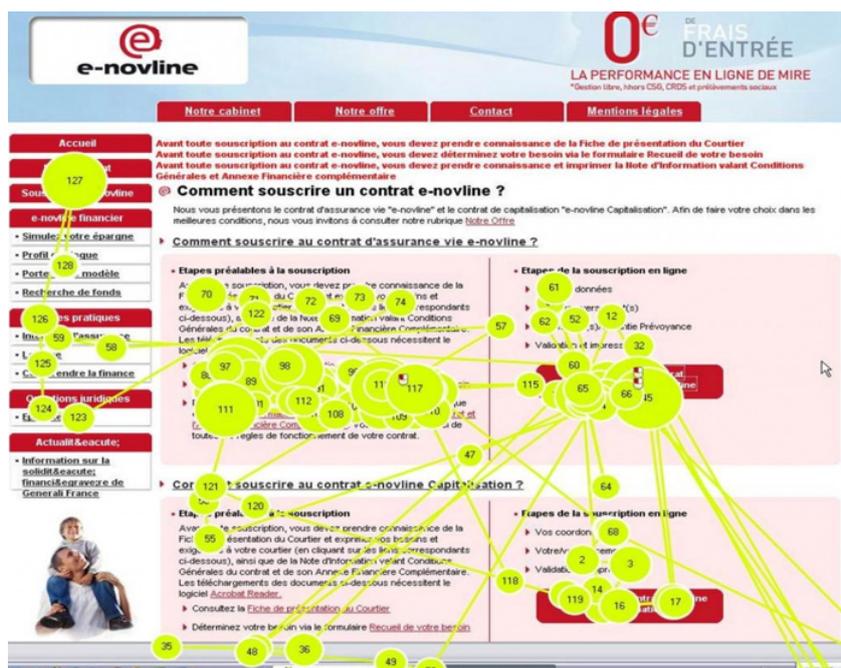


FIGURE 1.4 – Exemple de détection de mouvement des yeux durant l'apprentissage [W3].

- Développer des outils pédagogiques plus efficaces : En analysant les réponses des apprenants à différents contenus et outils, et aussi les rendre plus claires, plus attrayantes et mieux adaptées aux besoins de chacun.
5. Ergonomie et conception web :
- Pour améliorer l'utilisabilité des interfaces [Tichindelean *et al.*, 2021] : améliore la conception de l'interface par identifiant les zones d'attraction clés et en ajustant la structure du site pour une meilleure interaction utilisateur.
  - Pour concevoir des sites web plus performants [Kim *et al.*, 2015] : En utilisant l'eye tracking pour concevoir des sites web plus performants. le site devient plus facile à utiliser et agréable, car il suit comment les gens regardent naturellement. Cela rend la conception du site plus adaptée pour que les gens l'utilisent plus facilement et intuitivement.



FIGURE 1.5 – La stratégie de scanne d'une page web avec l'oeil [W4].

## 1.6 Les métriques d'Eye tracking

Lors d'une session d'eye tracking, une étape clé consiste à définir les zones d'intérêt (AOI). Ces AOIs peuvent être des éléments de navigation, des boutons d'action, des images clés, ou toute autre zone sur laquelle l'utilisateur souhaite focaliser son analyse. Analyser quantitativement ses données d'une session d'eye tracking nécessite un large choix de métriques.

- Fixations : Lors d'une session d'eye tracking, les fixations correspondent aux moments où le regard de l'utilisateur se stabilise sur une zone précise de l'écran durant un temps déterminé [Salvucci et Goldberg, 2000]. A partir de cette métrique, elle inclue le nombre total de fixations, la durée moyenne des fixations.
- Saccades : Elles désignent le déplacement rapide des yeux qui permet de passer d'un point d'intérêt (fixation) à un autre. Elles durent généralement entre 20 et 35 millisecondes. Cette mesure indique comment les utilisateurs naviguent sur l'interface [Holmqvist *et al.*, 2011];[El Haddioui, 2019]
- Heatmaps : c'est une représentation visuelle de la concentration des fixations sur une zone d'intérêt. En effet, les chercheurs utilisent la Heatmap, où l'appareil attribue

à chaque point de l'écran une couleur en fonction de la concentration des fixations et de leur durée [Drusch *et al.*, 2014]

- Diamètre pupille : elle fournit des informations précieuses sur l'état physiologique et cognitif de l'utilisateur, ainsi que sur son niveau d'engagement et d'attention pendant une tâche donnée [Bitkina *et al.*, 2021].

Il existe d'autres métriques dans la littérature. Chaque métrique peut être utilisée individuellement ou combinée avec d'autres métriques pour fournir une analyse détaillée sur le comportement visuelle de l'utilisateur.

## 1.7 Eye tracking dans le e-learning

Avant d'expliquer le domaine d'application d'eye tracking dans le e-learning, il est nécessaire de définir d'abord le système du e-learning dans la sous-section suivante

### 1.7.1 E-learning

- Le terme "e-learning" est tellement utilisé mais il n'existe pas de définition unique et universellement acceptée. De nombreux synonymes existent, chacun soulignant un aspect ou un domaine spécifique de cette pratique [Rakoczi, 2014].
- Par exemple selon [Chitra et Umamaheswari, 2018] : Le mot e-learning comprend bien plus que l'apprentissage en ligne, l'apprentissage virtuel, l'apprentissage distribué, l'apprentissage en réseau ou sur le Web.
- Une autre définition proposée par [Wheeler, 2012] qui englobe tous les axes de ce domaine : L'e-learning décrit un ensemble de méthodes basées sur la technologie qui peuvent soutenir l'apprentissage des étudiants. Ces méthodes peuvent inclure des évaluations, du tutorat et des instructions en ligne.

### 1.7.2 Application du Eye tracking dans le e-learning

L'exploitation des données de suivi oculaire pour générer des émotions dans les systèmes d'apprentissage en ligne reste un domaine peu exploré [Charoenpit et Ohkura, 2015]. En intégrant l'eye tracking dans l'e-learning, les concepteurs de contenu peuvent mieux comprendre le comportement des apprenants [Cowen *et al.*, 2002]. [El Haddioui, 2019] a trouvé que les applications de suivi oculaire peuvent être classées en deux catégories principales : diagnostiques et interactives.

- Les applications de diagnostic en eye tracking permettent de visualiser les points d'attention de l'apprenant sur un support pédagogique. Elles constituent des outils précieux pour améliorer l'efficacité des supports pédagogiques et maximiser l'engagement des apprenants [Wang *et al.*, 2006].
- Par contre, dans les applications interactives de suivi oculaire, les mouvements oculaires se substituent à un système de saisie classique, comme la souris. L'utilisateur peut ainsi interagir avec son ordinateur en utilisant uniquement ses yeux [Wang *et al.*, 2006].

### 1.7.3 Analyse des travaux

Le développement de méthodes de suivi oculaire meilleures et plus adaptatives a permis à un nombre croissant de chercheurs de mener des études de suivi oculaire. En conséquence, l'utilisation de l'Eye tracking dans la recherche de plusieurs disciplines a explosé au cours des 20 dernières années [Carter et Luke, 2020] (voir Figure 6).

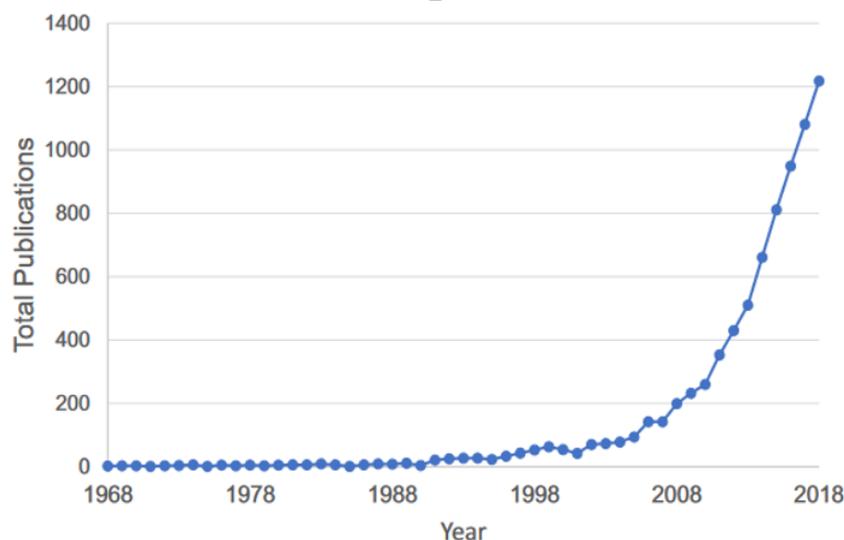


FIGURE 1.6 – Nombre total de publications de 1968 à 2018[Carter et Luke, 2020].

La plupart des publications présentées dans la figure précédente sont situées dans le domaine de la psychologie (58,13%) principalement la psychologie expérimentale (21,72%). Cependant, la technologie de suivi oculaire est utilisée dans diverses disciplines, notamment la médecine et les soins de santé (32,75 %). Neurosciences (17,86%), etc.[Carter et Luke, 2020]. L'eye tracking est une technologie qui permet aux chercheurs d'accéder à un large éventail d'informations sur les processus métacognitifs et comportementaux des apprenants.

Dans leur étude publiée en 2015,[Charoenpit et Ohkura, 2015] ont examiné les défis auxquels sont confrontés les étudiants lors de l'utilisation des systèmes d'apprentissage en ligne. Leur recherche a révélé que pour garantir un suivi efficace des apprenants et stimuler leur motivation, il est nécessaire de proposer un contenu plus interactif dans le domaine de l'e-learning. Afin d'analyser les caractéristiques du regard des étudiants, ils ont exploré trois modèles distincts : Russell's circumplex [Russell, 1980]. Shen [Kort *et al.*, 2001], and Kort's learning spiral [Kaiser et Oertel, 2006].

Chaque travail utilise soit un outil pour l'analyse des mouvements des yeux des apprenants comme le travail de [Ujbanyi *et al.*, 2016] et [Nugrahaningsih *et al.*, 2021]. Le choix de l'outil d'analyse du regard dépend de plusieurs facteurs, tels que la précision souhaitée, le budget et les fonctionnalités requises.

## 1.8 Conclusion

Eye tracking est un outil puissant utilisé dans de nombreux domaines, il permet de mieux comprendre comment les gens interagissent avec leur environnement et comment ils traitent l'information. Dans ce chapitre, nous définirons les principes de base de l'eye tracking ainsi que les différents types d'appareils et de mesures utilisées. En e-learning, il

est nécessaire d'avoir un contenu interactif pour identifier les centres d'intérêt des apprenants et renforcer leur engagement et leur motivation. Notre travail s'inscrit dans cette perspective. Le chapitre suivant porte sur l'engagement des apprenants.

# Chapitre 2

## L'Engagement des apprenants dans le système E-learning

### 2.1 Introduction

Lorsque les étudiants sont vraiment impliqués dans leurs cours en ligne, ils trouvent plus de joie dans leur apprentissage, sont plus motivés, se sentent moins seuls et réussissent mieux. C'est un élément clé pour leur réussite globale dans les cours en ligne. Une motivation forte alimente l'engagement et encourage l'apprenant à investir du temps et de l'énergie dans son apprentissage. En effet, L'apprenant engagé sait comment s'attaquer efficacement aux tâches d'apprentissage et optimiser son processus d'acquisition de connaissances.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur la compréhension de ce qu'est vraiment l'engagement et les théories . Pour cela, nous examinons les aspects principaux de l'engagement et explorons le tableau de bord pour évaluer l'engagement dans les environnements d'apprentissage en ligne. Nous concluons le chapitre en présentant quelques recherches sur l'engagement dans ces environnements, mettant en lumière l'importance de l'engagement pour le succès des étudiants en ligne.

### 2.2 Définition de l'engagement

Le mot engagement selon le dictionnaire de Larousse : *“Acte par lequel on s'engage à accomplir quelque chose ; promesse, convention ou contrat par lesquels on se lie”*. Dans le domaine d'éducation, [Lamborn *et al.*, 1992] disent que : *“ s'engager, c'est vraiment se donner à fond mentalement et physiquement pour apprendre, comprendre et maîtriser des connaissances ou développer des compétences”*. C'est un peu différent de la motivation, même si les deux vont souvent ensemble. La motivation, c'est plutôt un état d'esprit qui pousse à agir, c'est une sorte de prérequis pour s'engager [Pirot et De Ketele, 2000]. Mais l'engagement va plus loin que la simple motivation, car il implique des actions concrètes. C'est à la fois une décision mentale et une participation active dans ce qu'on fait, comme le disent [Pirot et De Ketele, 2000].

## 2.3 Théories de l'engagement

L'engagement est désormais reconnu comme un facteur déterminant du succès dans l'apprentissage. Par exemple, des temps de réponse très courts à des questions faciles indiquent que les apprenants ne sont pas engagés et donnent simplement des réponses aléatoires sans aucun effort. Le concept « d'engagement direct » en anglais direct engagement met l'accent sur l'interaction entre l'humain et la machine, où les intentions cognitives des utilisateurs peuvent être réalisées grâce à la manipulation physique de l'interface [Lalmas *et al.*, 2022].

L'engagement, selon Larousse, peut se définir à la fois comme l'acte de s'engager à accomplir quelque chose et comme le fait de prendre position sur des questions politiques ou sociales, que ce soit par des paroles ou par des actions.

[Reschly et Christenson, 2022] trouvent que l'engagement des étudiants fait référence à l'implication active des étudiants dans des pratiques éducatives efficaces et à leur engagement envers les objectifs éducatifs et l'apprentissage, et constitue une voie essentielle vers des résultats éducatifs hautement valorisés tels que la réussite scolaire.

Par ailleurs, [Pace, 1984] précise le concept de l'engagement en termes de qualité de l'effort. Il le décrit comme « *la quantité, l'ampleur et la qualité de l'effort fourni par les élèves pour tirer parti des opportunités offertes par le collègue* ».

Des chercheurs récents conviennent que le terme n'est pas un concept statique, mais qu'il comporte différentes dimensions. [Wu *et al.*, 2017] définit l'engagement comme une connexion entre un utilisateur et une ressource, qui est de nature émotionnelle, cognitive et comportementale à tout moment [Wu *et al.*, 2017]. Plusieurs types de l'engagement des apprenants ont été abordés dans la littérature [Bosch, 2016]; [Fredricks *et al.*, 2004]. [Bosch, 2016] organisait l'engagement sous trois dimensions différentes : affectif, comportemental et cognitif. [Fredricks *et al.*, 2004] définissent l'engagement comme comportemental, cognitif et émotionnel. Tandis que Anderson et al. (2004) définissent comme académiques, comportementales, cognitives et psychologiques dans leurs études de recherche. Dans la section suivante, on va détailler chaque dimension séparément.

## 2.4 Les dimensions de l'engagement

Il est utile de connaître différents types d'engagements dans le contexte de l'apprentissage pour concevoir une intervention personnalisée afin d'améliorer l'expérience des apprenants.

- L'engagement comportemental est élément crucial de l'apprentissage, se manifeste par les actions observables des apprenants face aux tâches d'apprentissage.
- L'engagement cognitif est un aspect important de l'apprentissage. Il fait référence aux stratégies mises en place par l'apprenant pour comprendre et s'approprier des contenus.
- L'engagement émotionnel englobe le positif et le négatif réactions envers les enseignants, les camarades de classe et les étudiants [Fredricks *et al.*, 2004].

- L'engagement psychologique fait référence au sentiment d'appartenance et aux relations avec les enseignants et les pairs [Christenson et Anderson, 2002]

Il est évident que l'engagement des étudiants joue un rôle très important dans le processus d'apprentissage, c'est pourquoi sa mesure automatique est également importante dans l'environnement d'apprentissage numérique aujourd'hui.

## 2.5 Mesurer l'engagement

Différents mesure d'engagements dans le contexte de l'apprentissage sont utiles à connaître pour concevoir des interventions personnalisées afin d'améliorer l'expérience des apprenants [Dewan *et al.*, 2019]. Cette mesure implique souvent l'analyse de différents indicateurs comportementaux, émotionnels, cognitifs ou interactionnels pour évaluer l'étendue de la participation active ou de l'investissement manifesté par les individus impliqués. Généralement, un l'instructeur du cours est capable d'évaluer l'engagement des étudiants dans un environnement de classe basé sur leur expression faciale. Autres signaux sociaux bien connus tels que le bâillement, les yeux collés et le corps posture sont également utiles pour analyser le changement de comportement des acteurs du milieu naturel [El Haddoui, 2019]

## 2.6 Types d'engagement dans l'apprentissage en ligne

[Moore, 1989] a identifié trois types d'engagement présents dans les cours en ligne efficaces : le contenu étudiant, l'étudiant-instructeur et l'étudiant-étudiant ( voir la figure 1).

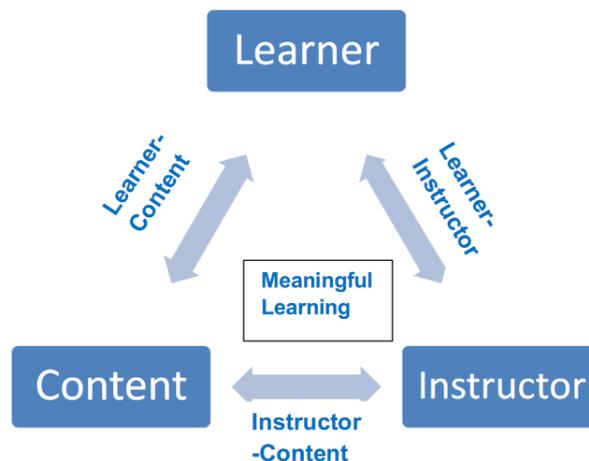


FIGURE 2.1 – les types d'interaction [Martin et Bolliger, 2018].

### 2.6.1 Engagement de l'apprenant au contenu :

L'engagement entre l'apprenant et le contenu, c'est quand on réfléchit activement à ce qu'on apprend. Ça peut être en regardant des vidéos, en utilisant des outils multimédias ou en cherchant des infos. Les cours en ligne peuvent aider les étudiants à bien comprendre le contenu grâce à des méthodes synchronisées ou asynchrones. Les profs en ligne doivent

choisir des matériaux intéressants et créer des évaluations utiles pour encourager cette interaction. Utiliser des exemples du monde réel peut aider à rendre le contenu plus concret. En utilisant la bonne technologie, les cours peuvent être plus captivants. Les profs doivent sélectionner attentivement les contenus pour que les étudiants restent intéressés. Plutôt que de juste donner une liste de ressources, les profs devraient proposer des activités pratiques qui permettent aux étudiants d'utiliser les infos de manière intelligente. Des choses simples comme bien communiquer et faciliter les cours peuvent aussi aider à garder les étudiants motivés [Martin et Bolliger, 2018] .

### 2.6.2 Engagement apprenant-instructeur :

Quand les apprenant et les enseignants interagissent en ligne, les apprenant sont plus impliqués dans leur apprentissage. Il est important que les enseignants accordent une attention particulière à ces interactions, car elles peuvent influencer la réussite des apprenants . Les études montrent que la collaboration entre les apprenants et les enseignants, avec des retours rapides sur le travail des élèves, est cruciale. Les outils technologiques comme les forums de discussion peuvent aider à renforcer cette collaboration et à rendre l'apprentissage plus captivant [Martin et Bolliger, 2018] .

### 2.6.3 Engagement apprenant à apprenant :

L'interaction entre apprenants est essentielle pour l'apprentissage en ligne et favorise l'engagement des étudiants. Pour éviter que les étudiants en ligne ne s'ennuient ou ne se sentent isolés, il est crucial de créer des activités qui stimulent leur participation. Ces activités aident les étudiants à se sentir connectés et à développer un sentiment de communauté dynamique. Les technologies traditionnelles telles que les forums de discussion, les sessions de chat, les travaux de groupe et l'évaluation par les pairs sont efficaces pour encourager l'interaction entre les étudiants dans les cours en ligne.

L'utilisation d'applications web comme Twitter, Google ou des technologies audio et vidéo comme Wimba Collaboration Suite est recommandée pour améliorer l'engagement. Les étudiants sont plus satisfaits et estiment avoir plus d'interaction avec leurs pairs et leurs instructeurs lorsque les discussions comptent pour une plus grande partie de leur note de cours. L'utilisation de la vidéoconférence ou du chat dans les activités synchrones, ainsi que des forums de discussion dans les activités asynchrones, renforce l'interaction entre les étudiants. L'utilisation des médias sociaux offre également une opportunité d'améliorer l'engagement grâce à l'interaction sociale [Martin et Bolliger, 2018].

## 2.7 Evaluation de l'engagement

### 2.7.1 Tableau de bord d'apprentissage pour évaluer l'engagement

#### Définition

Les tableaux de bord d'apprentissage, définis par [Yoo *et al.*, 2015] comme des outils d'affichage des résultats de l'analyse des données éducatives, s'inscrivent dans le domaine de la visualisation de l'information [Card *et al.*, 1999]. Dans le contexte pédagogique, ils deviennent des outils précieux pour les professionnels de l'éducation, leur permettant de suivre et d'analyser une multitude de données sur les étudiants, telles que :

- Les questions posées
- L'humeur des étudiants
- Les évaluations obtenues
- Les progrès réalisés

L'analyse de ces données, rendue possible grâce aux tableaux de bord, favorise une meilleure compréhension des besoins et des difficultés des apprenants. Cela permet aux enseignants d'ajuster leurs pratiques pédagogiques et d'améliorer ainsi l'enseignement.

### Le rôle des tableaux de bord

- Soutenir les apprenants dans leur parcours d'apprentissage en les guidant dans la planification et l'ajustement de leurs actions.
- Encourager la réflexion des apprenants sur leurs méthodes d'apprentissage actuelles.
- Fournir des informations qui stimulent les compétences métacognitives des apprenants.
- Soutenir l'apprentissage autonome et l'orientation vers la maîtrise.
- Encourager la comparaison sociale entre les apprenants.
- Offrir aux apprenants un contrôle sur ce qu'ils voient et comment ils interagissent avec le contenu [W5].

### Prototypes existants de tableaux de bord (Exemples) :

- Le système d'analyse de l'apprentissage de GLASS Gradient [Leony *et al.*, 2012] offre des visualisations permettant aux étudiants de se comparer. Il affiche le nombre d'événements réalisés dans le temps et les actions pour une activité donnée. Ces visualisations sont disponibles pour tous les étudiants et sont également partagées avec les pairs, facilitant ainsi la comparaison de la fréquence des actions entre les étudiants.

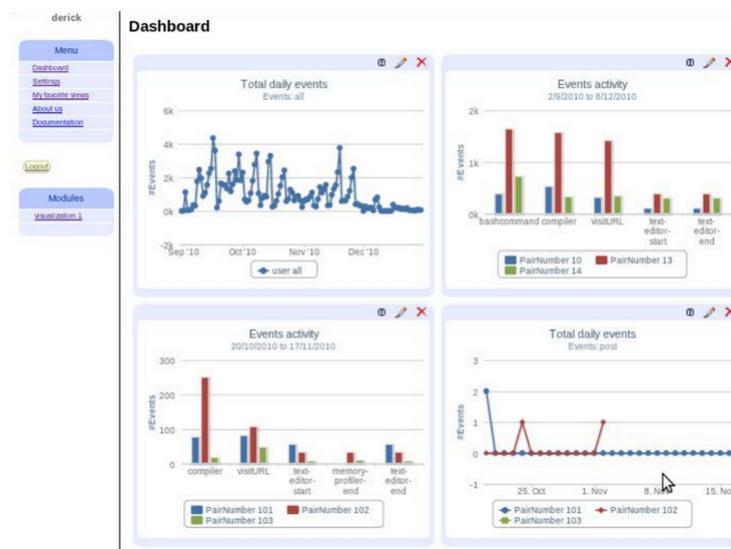


FIGURE 2.2 – Tableau de bord GLASS [Leony *et al.*, 2012].

- Les cartes de compétences [Grann et Bushway, 2014] offrent une évaluation visuelle des compétences développées, mettant en lumière les talents des apprenants pour les guider vers le succès professionnel.



FIGURE 2.3 – Tableau de bord Competency Maps [Grann et Bushway, 2014].

- L'interface Canvas montre aux enseignants comment les étudiants se comportent dans leur classe, comme combien de fois ils se connectent, ce qu'ils ont fait en classe et s'ils ont rendu leurs devoirs à temps. Les informations sont présentées sous forme de graphiques à barres colorés, ce qui rend facile de voir ceux qui ont terminé leurs devoirs à temps, ceux qui les ont rendus en retard et ceux qui ne les ont pas rendus du tout [Coffrin *et al.*, 2014].

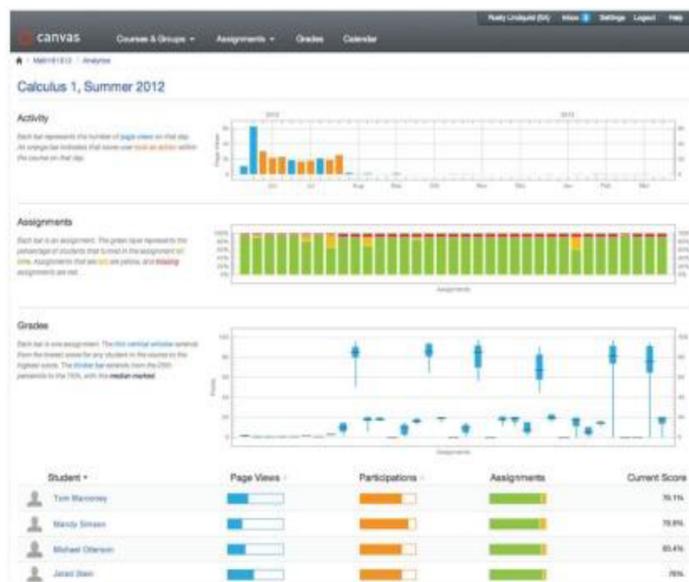


FIGURE 2.4 – Tableau de bord de la plate-forme Canvas [Coffrin *et al.*, 2014].

- Data Wranglers [Clow, 2013] offre des analyses et des représentations graphiques des interactions des étudiants sur diverses plateformes telles que les forums, les sites

web, les wikis et les évaluations de cours. Ces visualisations permettent aux administrateurs de personnaliser davantage les cours en fonction des besoins individuels des étudiants.

### 2.7.2 Les learning analytics pour améliorer l'engagement

L'analyse des activités d'apprentissage instrumentées, appelée "learning analytics" (LA), permet de voir quels sont les apprenants ont besoin de plus de soutien ou d'une autre intervention . Elle présente de nombreux avantages pour les apprenants, les enseignants et les institutions. Selon une méta-analyse de [Wong, 2017], les LA permettent d'identifier précocement les élèves à risque de décrochage, ce qui permet aux équipes pédagogiques d'offrir rapidement un soutien personnalisé. Cela a conduit à une réduction du taux d'abandon et à une amélioration des résultats académiques. De plus, l'analyse des données massives a permis aux institutions de mieux informer leurs décisions et de rendre la formation plus efficace en réduisant les coûts. Les LA ont également permis d'évaluer et d'améliorer les méthodes pédagogiques et les environnements d'apprentissage. Cependant, il est important de noter que l'efficacité des LA dépend également de la capacité des apprenants à comprendre et à utiliser les informations fournies. En outre, évaluer l'impact spécifique des LA dans l'amélioration des résultats d'apprentissage peut être complexe en raison de multiples facteurs en jeu. Malgré ces défis, les LA sont généralement perçus comme bénéfiques tant pour les apprenants que pour les institutions d'enseignement à distance [Peraya, 2019] .

## 2.8 Analyse des travaux

L'engagement scolaire, un concept psychologique d'une importance capitale pour la compréhension du comportement des étudiants, est issu des travaux menés sur la prévention du décrochage et la réforme de l'éducation au cours des quatre dernières décennies [Vo et Ho, 2024].

[Sharma *et al.*, 2019] ont développé un prototype pour suivre le niveau d'engagement des étudiants dans l'apprentissage en ligne environnements utilisant trois variables ; mouvement des yeux, mouvement de la tête et du visage expressions. Ces trois facteurs sont capturés à partir du laptop pour classer l'engagement de l'apprenant en trois classes : « très engagé », « nominalelement engagé » et « pas engagé du tout ».

[Guo *et al.*, 2014] ont étudié l'engagement des étudiants lorsqu'ils regardaient des vidéos en ligne, en se basant sur des données telles que le temps passé à regarder la vidéo et le nombre de réponses aux évaluations .

[Thomas et Jayagopi, 2017] ont mesuré l'engagement des étudiants en utilisant un algorithme d'apprentissage automatique basé sur les expressions faciales, les poses de tête et les regards des yeux, montrant que les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent bien prédire l'engagement des étudiants en classe .

[Bote-Lorenzo et Gómez-Sánchez, 2017] ont prédit la diminution de l'engagement des étudiants dans un cours en ligne massif et ouvert en utilisant une approche basée sur l'apprentissage automatique .

Les articles examinés dans cet article ont montré diverses recherches sur l'engagement des étudiants dans les technologies numériques. De nombreuses méthodes sont disponibles pour mesurer la manière dont les apprenants

s'engagent et interagissent dans des scénarios du monde réel, notamment des études d'observation, des enquêtes, des entretiens, des analyses comportementales et des outils technologiques tels que le suivi oculaire ou les mesures physiologiques. En effet, ces analyses constituent une démarche essentielle pour atteindre notre objectif principal de comprendre l'engagement et l'interaction des apprenants dans des environnements réalistes.

## 2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré diverses notions liées à l'engagement, y compris ses dimensions. De nombreuses méthodes sont disponibles pour mesurer la manière dont les apprenants s'engagent et interagissent dans des environnements d'apprentissage en ligne. L'intégration de l'Eye tracking dans les environnements d'apprentissage en ligne peut offrir une approche plus précise et objective pour mesurer l'engagement des apprenants. En combinant les données d'Eye tracking avec d'autres mesures, telles que l'analyse des données d'apprentissage et comportementales, il est possible de créer une image plus complète de l'engagement des apprenants et de ses facteurs déterminants. Dans le chapitre suivant, nous essayons de proposer une approche pour mesurer l'engagement des apprenants en intégrant un modèle d'Eye tracking.

# Chapitre 3

## Conception du Système

### 3.1 Introduction

Dans le domaine de l'apprentissage en ligne, l'engagement des apprenants est un élément essentiel pour garantir une expérience d'apprentissage efficace et enrichissante. Cependant, évaluer et améliorer cet engagement peut être difficile.

S'appuyant sur les travaux cités dans les chapitres précédents, ce chapitre présente une nouvelle approche basée sur l'eye-tracking pour évaluer et améliorer l'engagement des apprenants dans les environnements d'apprentissage en ligne.

De ce fait, nous avons utilisé l'outil d'eye-tracking WebGazer.js pour capturer et analyser leurs mouvements oculaires pendant les sessions d'enseignement. En effet, WebGazer fonctionne sur diverses plateformes et appareils sans nécessiter des équipements supplémentaires. De plus, il est facilement accessible à la plupart des utilisateurs et des développeurs, puisqu'il ne requiert que des appareils communs dotés d'une webcam opérationnelle. Sur la base de ces données, nous avons calculé divers indices métriques permettant d'évaluer l'engagement des apprenants de manière objective et précise. Ces indices nous ont fourni des informations précieuses sur les schémas de lecture, l'attention accordée à différents éléments de contenu, ainsi que sur les moments d'interaction ou de distraction pendant les sessions d'apprentissage en ligne..

### 3.2 Objectifs du système

L'objectif principal de ce travail est de détecter en temps réel l'engagement des apprenants dans une plateforme d'apprentissage en ligne. La première proposition est de fournir une structure de présentation du contenu pédagogique adéquate. Selon ce contenu, on va concevoir un modèle qui intègre une technologie de suivi oculaire, telle que WebGazer.js. Ce modèle vise à capturer et analyser les mouvements des yeux des apprenants pendant qu'ils interagissent avec des contenus éducatifs en ligne. Cette analyse permettra de déterminer plusieurs facteurs qui déterminent le niveau d'attention d'un apprenant tout au long de leur expérience d'apprentissage. En intégrant ces données de suivi oculaire avec d'autres mesures, telles que les questionnaires d'évaluation et les données comportementales, nous aspirons à créer un modèle complet et précis de l'engagement des étudiants. Pour valider tous les objectifs cités précédemment, nous avons implémenté un environnement d'apprentissage en ligne, nous avons l'appelé E-Track Learning .Ce système a plusieurs fonctionnalités sont :

- Permettre aux enseignants de poster différents types de contenu pédagogique,
- Permettre aux apprenants d'accéder aux cours et d'effectuer tests postée par un enseignant,
- Fournir à l'enseignant une visualisation de tous types d'interactions d'apprenant,
- Détecter le niveau d'engagement de l' apprenant durant chaque cours ,
- Recommander un objet d'apprentissage pour améliorer le niveau d'engagement des apprenants .

### 3.3 Architecture du système

Afin d'atteindre les objectifs mentionnés précédemment, notre système est composé de deux architectures : une "architecture globale" qui présente les principales interfaces, et une "architecture fonctionnelle" qui détaille les différentes fonctions.

#### 3.3.1 Architecture globale du système

Les participants du système sont représentés comme suit (Voir figure 1) :

- Le serveur web agit comme intermédiaire entre les utilisateurs et la base de données.
- La BDD (Base de donnée) centralise toutes les données et informations relatives aux acteurs du système.
- Le système propose trois interfaces distinctes, chacune adaptée aux besoins spécifiques de chaque type d'acteur : Administrateur, Enseignant et Apprenants.

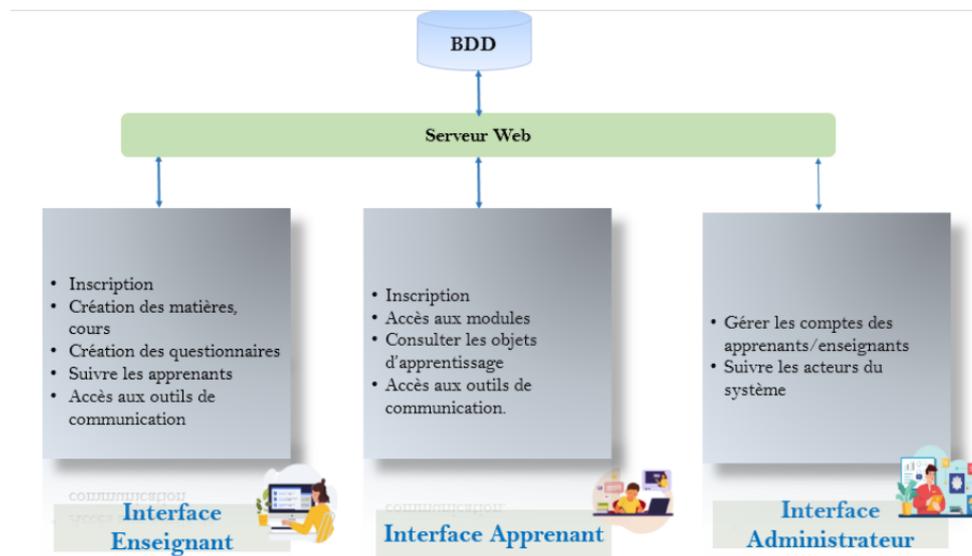


FIGURE 3.1 – Architecture globale du système E-Track Learning.

#### 3.3.2 Architecture fonctionnelle du système

L'architecture fonctionnelle de notre système «E-Track Learning » est présentée dans la figure suivante :

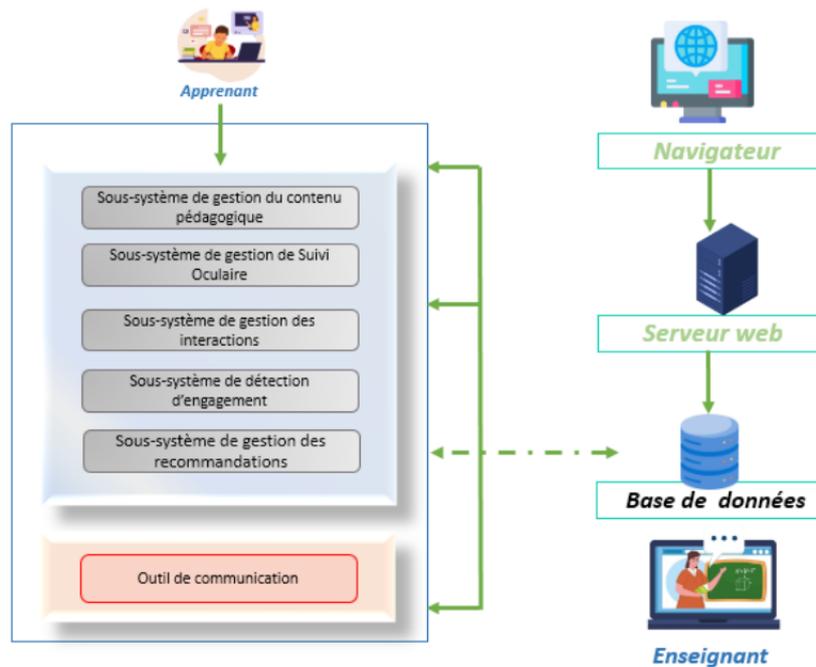


FIGURE 3.2 – Architecture fonctionnelle du système E-Track Learning.

### 3.3.3 Les acteurs du système

Notre système comprend trois acteurs principaux : l'enseignant, l'apprenant et l'administrateur. Chacun de ces acteurs joue un rôle clairement défini, résumé comme suit :

- **Apprenant** : L'apprenant est le principal acteur de notre système d'apprentissage. En premier lieu, les apprenants doivent fournir leurs informations personnelles, puis ils peuvent :
  - Consulter et modifier leurs profils.
  - Suivre ses objets d'apprentissage de chaque matière.
  - Effectuer les différentes évaluations.
  - Communiquer avec les autres apprenants/enseignants/ administrateur.
  - etc.
- **Enseignant** : Les principales fonctions attribuées à l'enseignant sont :
  - Ajouter, modifier et supprimer des matières, cours, etc.
  - Consulter le niveau cognitif de chaque apprenant à partir de données d'évaluation et de tests.
  - Visualiser le niveau d'engagement de chaque apprenant avec le contenu pédagogique, potentiellement en utilisant des outils comme le suivi des mouvements oculaires ou d'autres métriques d'interaction.
  - Examiner les interactions spécifiques de chaque apprenant avec le système, y compris leurs réponses aux quiz, leurs contributions aux discussions en ligne, etc.
  - etc.
- **Administrateur** : Notre système est actif pour un certain nombre d'apprenants, c'est pour cette raison que nous avons créé un espace administrateur. L'administrateur est chargé de la gestion du système. Il peut gérer les fonctionnalités suivantes :

- Accepter ou supprimer les nouveaux utilisateurs (étudiants/enseignants) inscrits dans le système et gérer leurs droits d'accès.
- Communiquer avec les autres acteurs du système (étudiants/enseignants) .
- Se connecter et se déconnecter du site.

### 3.3.4 Modules offerts par système E-Track Learning

#### A) Sous-système de gestion du contenu pédagogique

- **Création et organisation de sessions d'apprentissage en ligne**

Ce sous-système permet aux enseignants de concevoir et d'organiser le contenu en ligne. Une session d'apprentissage  $S$  désigne une période structurée pendant laquelle les apprenants s'engagent dans une série de contenus d'apprentissage  $C$ . Cette session peut inclure diverses activités pédagogiques telles que des leçons, des exercices, des discussions, etc. Chaque contenu d'apprentissage  $C$  est soigneusement sélectionné et organisé pour atteindre des objectifs éducatifs précis au cours de la session [Bendjebar *et al.*, 2024a] .

$$S_L = \bigcup_{i=1}^n C_i$$

Où :

$S_L$  : présente la session d'un apprenant  $L$  .

$C$  : est le type de contenu pédagogique .

$n$  : est le nombre du contenu dérouler pendant la session.

- **Evaluation des connaissances**

Afin de mesurer les connaissances  $C_n$  de chaque étudiant dans un module précis, un questionnaire à choix multiples (QCM) sera administré. Ce QCM sera élaboré par l'enseignant et portera sur les notions clés du cours. Chaque apprenant devra répondre à l'ensemble des questions du QCM [Mehenaoui, 2018] .

$$C_n = \frac{\text{nombre de réponse}}{\text{nombre total de question}} \times 100$$

#### B) Sous-système de gestion de Suivi Oculaire

Le sous-système de gestion de suivi oculaire est un composant essentiel conçu pour capturer, analyser et interpréter les mouvements oculaires des apprenants. Pour cette raison, nous avons intégré Webgazer.js pour analyser les mouvements oculaires, ce sous-système peut fournir des informations précieuses sur la façon dont les apprenants interagissent avec leur environnement, traitent l'information et prennent des décisions [Bendjebar *et al.*, 2024a].

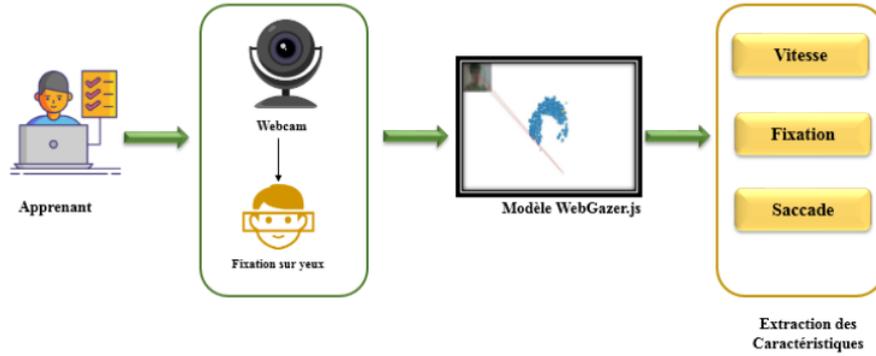


FIGURE 3.3 – Processus de l’approche proposée .

- **Attention locale**

L’attention locale prend en compte les caractéristiques d’attention effective de l’apprenant (vitesse de lecture, fixations, saccades) pour obtenir une mesure plus précise de l’attention portée à un contenu spécifique. Formellement, l’attention locale, notée  $La(C,L)$ , représente le degré d’attention porté à un contenu spécifique  $C$  par un apprenant particulier  $L$  [Bendjebar *et al.*, 2024a]. La formule pour calculer  $La(C,L)$  est la suivante :

$$La(C, L) = \sum_{i=1}^n EA_i$$

Sachant que :

- $La(C,L)$  : Représente le degré d’attention porté à un contenu spécifique ( $C$ ) par un apprenant particulier ( $L$ ).
- $EA$  : Vecteur d’attention effective qui représente les différentes caractéristiques qui influencent l’attention de l’apprenant. Ce vecteur contient :
  - Vitesse de lecture (speed).
  - Nombre de fixations (points où l’œil s’arrête sur le contenu) .
  - Nombre de saccades (mouvements rapides de l’œil entre fixations).

- **Attention globale**

L’attention globale  $GA$  est un facteur important pour évaluer l’engagement des apprenants. En effet, sur les informations de l’attention locale pour chaque contenu, elle offre une vision globale de l’intérêt et de la concentration de l’apprenant pendant la session. La formule de calcul de  $GA$  sur l’ensemble d’une session est exprimée par [Bendjebar *et al.*, 2024a] :

$$GA(S, L) = \frac{\sum_{i=1}^n LA(C_i, L)}{n}$$

Où :

GA(S,L) : Représente l'attention globale de l'apprenant (L) pendant la session.

n : Représente le nombre total de contenus présentés à l'apprenant pendant la session.

LA(C,L) : Représente l'attention locale portée par l'apprenant (L) à un contenu spécifique (C).

- **Sous-système de gestion des interactions** : Ce sous-système permet d'analyser et de comprendre les schémas de comportement des apprenants lors de leur interaction avec du contenu en ligne. De ce fait, nous avons sélectionné un ensemble d'indicateurs liés aux contenus pédagogiques tels que : le nombre d'accès aux cours, le nombre de téléchargement, etc. Chaque indicateur est validé par une formule utilisée dans notre travail [Bendjebar *et al.*, 2023], par exemple pour calculer le nombre d'accès aux cours, nous avons utilisé cette formule :

$$Accour = \frac{\text{nombre d'accès cours de l'apprenant}}{\text{nombre total d'accès des apprenants}}$$

- **Sous-système de détection d'engagement** : Le sous-système de détection d'engagement a pour objectif de mesurer et d'analyser l'engagement des apprenants pendant les sessions d'apprentissage en ligne. En capturant et en analysant les interactions et les niveaux d'attention des apprenants, en particulier les mouvements oculaires, en temps réel, ce sous-système fournit des informations précieuses sur les modèles d'engagement des étudiants. En utilisant ces informations, le système peut automatiquement classer les niveaux d'engagement des apprenants en trois catégories : fortement engagé, modérément engagé, et faible [Bendjebar *et al.*, 2024b]. Pour cela nous avons comparé deux modèles d'apprentissage automatique : Random Forest et XGBoost. Voici comment Random Forest et XGBoost peuvent être utilisés pour cette tâche :

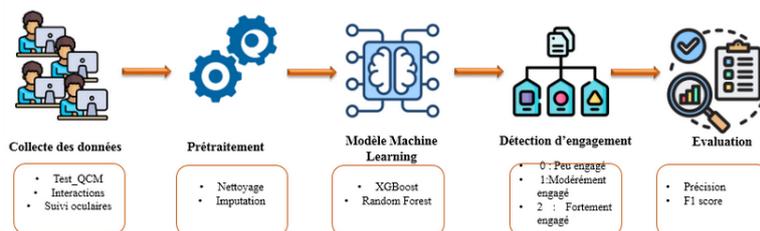


FIGURE 3.4 – Processus de Détection d'Engagement avec Random Forest et XGBoost.

- **Collecte des données** : Les données de test, d'interaction et de suivi des yeux sont collectées en temps réel pendant que les apprenants interagissent avec le contenu pédagogique. On a sélectionné ses informations pour chaque apprenant :

- **Attention effective (EA)**
- **Attention globale (GA)**
- **Somme des Interactions (intr)**
- **Note des Quizzes et Sondages (note)**
- **Prétraitement et imputation** : Les données brutes sont prétraitées pour éliminer le bruit et les incohérences. Cela peut impliquer le lissage des données de suivi des yeux, la normalisation des données d'interaction et la gestion des valeurs manquantes. L'imputation par la moyenne consiste à remplacer les valeurs manquantes dans une colonne par la moyenne des valeurs présentes dans cette colonne.
- **Sélection des modèles de Machine Learning** : Les algorithmes XGBoost et Random Forest sont sélectionnés pour la modélisation de l'engagement. XGBoost est un algorithme d'apprentissage par renforcement d'arbres décisionnels qui est connu pour sa précision et sa robustesse vis-à-vis du surajustement. Random Forest est un ensemble d'arbres décisionnels qui offre une bonne généralisation et une capacité à gérer les données complexes.
- **Détection d'engagement** : En utilisant ses deux algorithmes on obtient le niveau d'engagement : Peu engagé, modérément engagé et fortement engagé.
- **Evaluation** : Les modèles entraînés sont évalués en utilisant les métriques de validation connus tels que : Précision, F1 score, etc.
- **Sous-système de gestion de recommandation** : Ce dernier est un sous-système ne fait pas partie de notre contribution directe, nous pouvons néanmoins reconnaître son importance dans l'amélioration de l'apprentissage en ligne. En identifiant les apprenants non engagés, ce sous-système fournit des informations précieuses qui peuvent être exploitées pour personnaliser l'apprentissage et augmenter les taux d'engagement [Bendjebar *et al.*, 2024b].

## 3.4 La structure de la base de données

L'ensemble des données du système est stocké dans une base de données qui structure les liens entre ces données.

### 3.4.1 Dictionnaire de données

Code	Description	Type
id_admin	Identificateur de l'administrateur	Intégre (11)
nom_admin	Nom de l'administrateur	Varchar (20)
prenom_admin	Prénom de de l'administrateur	Varchar (20)
psseudo	Nom de connexion de de l'administrateur	Varchar (20)
password	Mot de passe de de l'administrateur	Varchar (20)
email_admin	L'email de de l'administrateur	Varchar(20)
num_admin	Numéro de téléphone de de l'administrateur	Intégre(11)

img_admin	Photo de profile de de l'administrateur	Varchar(255)
id_ens	Identifiant de l'enseignant	Intégre(11)
nom_ens	Nom de l'enseignant	Varchar(20)
prenome_ens	Le prénom de l'enseignant	Varchar(20)
psseudo	Nom de connexion de l'enseignant	Varchar(20)
password	Mot de passe de l'enseignant	Varchar(20)
email_ens	L'adress mail de l'enseignant	Varchar(20)
num_ens	Numéro de téléphone de l'enseignant	Intégre(11)
date_nais	Date de naissance du l'enseignant	Date
sex_ens	Le genre du l'enseignant	Tinyint
grad_ens	Niveau de l'enseignement de l'enseignant	Varchar(20)
img_ens	l'image de l'enseignant	Varchar(255)
etat_admins	l'administrateur peut accepter ou rejeter le compte de l'enseignant	Tinyint
id_cour	Identifiant de cours	Intégre(11)
nom_cour	Le nom du cour	Varchar(50)
url	Le lien URL du cour	Text
type	Type du cour	Intégre(11)
level	Niveau de difficulter de cour	Intégre(11)
duration	Durée d'enseignement du ce cour	Intégre(11)
id_ev	Identifiant de note test	Intégre(11)
date	La date de réponse sur le test	Date
scor	La note de test	Varchar(20)
id_etud	Identifiant de l'étudiant	Intégre(11)
matt_etud	Matricule de l'étudiant	Varchar(50)
nom_etud	Nom de l'étudiant	Varchar(50)
prenom_etud	Prénom de l'étudiant	Varchar(50)
psseudo	Nom de connexion de l'étudiant	Varchar(50)
password	Mot de passe de l'étudiant	Varchar(50)
email_etud	L'adress mail de l'étudiant	Varchar(50)
num_etiud	Numéro de téléphonique de l'étudiant	Intégre(11)
date_nais	Date de naissance du l'étudiant	Date
sex_etud	Le genre du l'étudiant	Tinyint
spec	Spécialité de l'étudiant	Varchar(50)
img_etud	L'image de l'étudiant	Varchar(255)
etat_admins	l'administrateur peut accepter ou rejter le compte étudiant	Tinyint
acc_module	Nombre d'accés au module par étudiant	Intégre(11)
acc_quiz	Nombre d'accés au qcm par étudiant	Intégre(11)
acc_cours	Nombre d'accés au cours par étudiant	Intégre(11)
nbr_tele	Nombre de téléchargement du cours par étudiant	Intégre(11)
vu_cours	Nombre de vue du cours par étudiant	Intégre(11)
somme_int	Somme des interactions par étudiant	Varchar(20)
id_grp	Identifiant du groupe	Intégre(11)
nom_grp	Le nom du groupe	Varchar(20)
nbr_mbr	Nombre des étudiants dans un groupe	Intégre(11)

specc	Spécialité de membres de groupe	Varchar(20)
id_msg	Identifiant de message	Intégre(11)
msg	Le message	Text
id_des	Identifiant de l'utilisateur qui reçoit le message	Intégre(11)
id_aut	Identifiant de l'utilisateur qui envoie le message	Intégre(11)
sujt	Le sujet de message	Varchar(50)
type_des	Catégorie d'utilisateur qui reçoit le message	Varchar(20)
type_aut	Catégorie d'utilisateur qui envoyé le message	Varchar(20)
vu	Le statut du message	Intéger(11)
date_en	La date d'émission du message	Date-Heure
id_mbr	Identifiant de membre du groupe	Intégre(11)
id_mod	Identifiant du module	Intégre(11)
nom_mod	Le nom de module	Varchar(50)
chaap	Nombre de chapitres dans le module	Intégre(11)
coff	Le coefficient de module	Intégre(11)
spec	Spécialité que module concerne	varchar(50)
id_qcm	Identifiant de test	Intégre(11)
nom_qcm	L'intitulé du qcm	Varchar(50)
date_test	La date d'élaboration du qcm	Date
id_qst	Identifiant de la question	Intégre(11)
qst	la question	Varchar(150)
choix1	La première option de la question	Varchar(150)
choix2	La deuxieme option de la question	Varchar(150)
choix3	Le troisième option de la question	Varchar(150)
soll	Solution de la question	Intégre(4)
id_track	Identifiant de trace de suivie oculaire	Intégre(11)
studentId	Identifiant de étudiant	Intégre(11)
courId	Identifiant du cour	Intégre(11)
moduleId	Identifiant du module	Intégre(11)
averageSpeedX	La vitesse moyenne de x	Varchar(20)
averageSpeedY	La vitesse moyenne de y	Varchar(20)
totalFixationsCount	Le nombre totale des fixations de x et y	Intégre(11)
totalSaccadeCount	Le nombre totale des saccades de x et y	Intégre(11)
EA	Attention effective	Varchar(20)
GA	Attention globale	Varchar(20)
engagement	Engagement de l'étudiant	Varchar(20)

TABLE 3.1 – Dictionnaire de données.

### 3.4.2 Liste des entités

N°	Tableau	Attributs	Identifiant
1	Admin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- id_admin</li> <li>- nom_admin</li> <li>- prenom_admin</li> <li>- psseudo</li> <li>- password</li> <li>- email_admin</li> <li>- num_admin</li> <li>- img_admin</li> </ul>	- id_admin
2	Cours	<ul style="list-style-type: none"> <li>- id_cour</li> <li>- nom_cour</li> <li>- type</li> <li>- level</li> <li>- duration</li> <li>- url</li> </ul>	- id_cour
3	Enseignant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- id_ens</li> <li>- nom_ens</li> <li>- prenom_ens</li> <li>- psseudo</li> <li>- password</li> <li>- email_ens</li> <li>- num_ens</li> <li>- date_nais</li> <li>- sex_ens</li> <li>- grad_ens</li> <li>- img_admin</li> <li>- etat_admins</li> </ul>	- id_ens
4	Etudiant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- id_etud</li> <li>- mat_etud</li> <li>- nom_etud</li> <li>- prenom_etud</li> <li>- psseudo</li> <li>- password</li> <li>- email_etud</li> <li>- num_etud</li> <li>- date_nais</li> <li>- sex_etud</li> <li>- spec</li> <li>- img_etud</li> <li>- etat_admins</li> <li>- acc_module</li> <li>- acc_quiz</li> <li>- acc_cours</li> <li>- nbr_tele</li> <li>- vu_cours</li> <li>- nbr_tele</li> </ul>	- id_etud

5	Evaluate	- id_ev - date - scor	- id_ev
6	Group	- id_grp - nbr_mbr - spec	- id_grp
7	Message	- id_msg - msg - id_des - id_aut - sujt - type_des - type_aut - vu - date_env	- id_msg
8	Membres	- id_mbrs	- id_mbr
9	Module	- id_mod - nom_mod - chap - spec - coff	- id_mod
10	QCM	- id_qcm - nom_qcm - date_test	- id_qcm
11	Quest	- id_qst - qst - choiix1 - choiix2 - choiix3 - soll	- id_qst
12	Trace	- id_trace - averageSpeedX - averageSpeedY - totalFixationsCount - totalSaccadeCount - EA - GA - engagement	- id_trace

TABLE 3.2 – Liste des entités.

### 3.4.3 Modèle conceptuel de données (MCD)

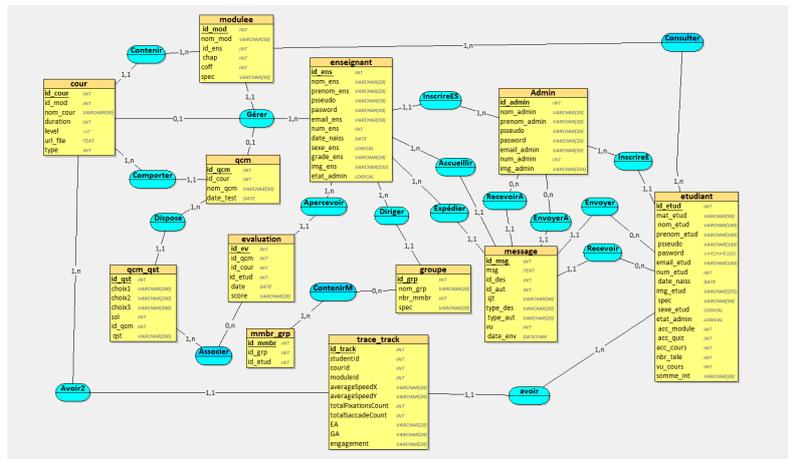


FIGURE 3.5 – Modèle conceptuel de données.

### 3.4.4 Liste des relations

N°	Relation	Dimensions	Collection	Cardinalité
1	InscriteeE	2	(Admin, Etudiant)	(1-n, 1-1)
2	InscireeS	2	(Admin, Enseignant)	(1-n, 1-1)
3	EnvoyerA	2	(Admin, Message)	(0-n, 1-1)
4	RecevoirA	2	(Admin, Message)	(0-n, 1-1)
5	Gérer	4	(Enseignant, Module, Cours, Qcm)	(1-n, 1-1, 1-1, 1-1)
6	Dirigerr	2	(Enseignant, Group)	(1-n, 1-1)
7	Apercevoir	2	(Enseignant, Evaluate)	(1-n, 1-1)
8	Expédier	2	(Enseignant, Message)	(0-n, 1-1)
9	Accueillir	2	(Enseignant, Message)	(0-n, 1-1)
10	Consulter	2	(Etudiant, Module)	(1-n, 1-n)
11	Envoyerr	2	(Etudiant, Message)	(0-n, 1-1)
12	Recevoirr	2	(Etudiant, Message)	(0-n, 1-1)
13	Avoir	2	( Cours, Trace )	(1-n, 1-1)
14	Avoir2	2	( Etudiant, Trace )	(1-n, 1-1)
15	Contenir	2	(Module, Cours )	(1-n, 1-1)
16	Comporter	2	(Cours, Qcm)	(1-n, 1-1)
17	dispose	2	(Test, Quest)	(1-n, 1-1)
18	Associer	2	(Quest, Evaluate)	(1-n, 0-n)
19	ContenirM	2	(Groupe, Membres )	(0-n, 1-n)

TABLE 3.3 – Liste des relations.

### 3.4.5 Modèle logique de données (MLD)

- Admin (id\_admin, nom\_admin, prenom\_admin, pseudo, password, email\_admin, num\_admin, img\_admin).

- Enseignant (id\_ens, nom\_ens, prenom\_ens, pseudo, password, email\_ens, num\_ens, date\_nais, grad\_ens, sex\_ens, etat\_admins, img\_ens).
- Etudiant (id\_etud, mat\_etud, nom\_etud, prenom\_etud, pseudo, password, email\_etud, num\_etud, date\_nais, spec, sex\_etud, etat\_admins, img\_etud, acc\_module, acc\_quiz, acc\_cours, nbr\_tele, vu\_cour, somme\_int).
- Module (id\_mod, nom\_mod, chap, spec, coff, #**id\_ens**).
- Cours (id\_cour, nom\_cour, url, #**id\_mod**).
- Trace (id\_track, averageSpeedX, averageSpeedY, totalFixationsCount, totalSaccadeCount, EA, GA, engagement, #**studentId**, #**courId**, #**moduleId**).
- Qcm (id\_qcm, nom\_qcm, date\_test, #**id\_cour**).
- Quest (id\_qst, qst, choix1, choix2, choix3, soll, #**id\_qcm**).
- Evaluate (id\_ev, date, scor, #**id\_etud**, #**id\_qcm**, #**id\_cour**).
- Group (id\_grp, nom\_grp, nbr\_mbr, spec).
- Membre (id\_mbrs, #**id\_etud**, #**id\_grp**).
- Message (id\_msg, msg, sujt, id\_des, id\_aut, type\_des, type\_aut, vu, date\_env).

## 3.5 Conclusion

Ce travail vise à proposer un ensemble de directives, de mesures et une approche méthodologique pour détecter l'engagement des apprenants durant les sessions d'apprentissage. Cette approche permet aux enseignants d'acquérir des connaissances plus approfondies sur le comportement des apprenants et leurs interactions avec le contenu pédagogique. En proposant diverses formules et mesures pour quantifier l'attention des apprenants, ses données ont été utilisées comme entrée pour les algorithmes de machine learning. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter l'implémentation de notre système, les outils utilisés ainsi que les expérimentations qui ont été faites et mes résultats obtenus.

# Chapitre 4

## Implémentation et Expérimentation du Système

### 4.1 Introduction

Après avoir posé les bases théoriques et conceptuelles du système E-Track Learning, ce chapitre s'attarde sur sa mise en œuvre pratique. Il décrit en détail les étapes de développement et les choix techniques opérés pour concrétiser la vision initiale de notre approche. A la fin de ce chapitre, un ensemble des expérimentations ont été faites pour garantir la qualité et la fiabilité du système est décrite.

### 4.2 Les Langages de programmation

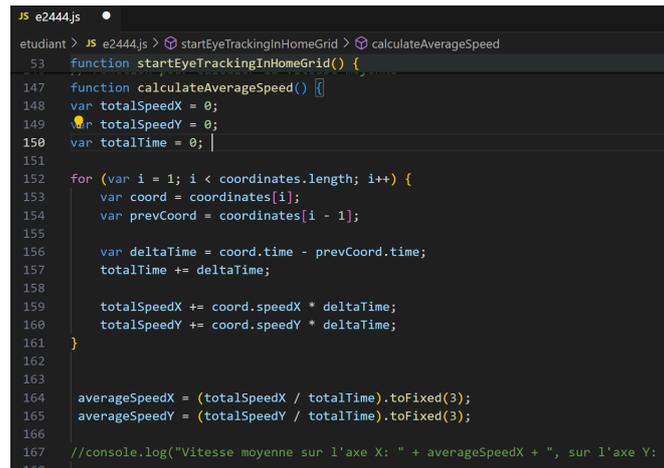
Les différentes technologies utilisées pour le développement de notre système « E-Track Learning » sont les suivantes :

#### 4.2.1 PHP

Le PHP (Hypertext Preprocessor) est un langage de programmation informatique principalement utilisé pour créer des pages Web dynamiques [W4]. Il est possible d'intégrer du code PHP au sein de HTML afin de concevoir une page web compatible avec tous les navigateurs. À chaque visite d'un utilisateur sur la page, le code PHP sera activé, comme mentionné dans l'étude de [Welling et Thomson, 2009].

#### 4.2.2 Java Script

JavaScript, souvent abrégé en "JS", est un langage de script léger et orienté objet, omniprésent sur le web et bien au-delà. Son utilisation s'étend des navigateurs web aux serveurs Node.js, aux bases de données CouchDB et même aux logiciels Adobe Acrobat [W7]. Dans notre système, le Java Script a été largement utilisé pour la gestion du modèle WebGazer.js pour extraire les caractéristiques de suivi oculaire en temps réels.

A screenshot of a code editor window titled 'e2444.js'. The code defines two functions: 'startEyeTrackingInHomeGrid()' and 'calculateAverageSpeed()'. The 'calculateAverageSpeed()' function iterates through an array of coordinates, calculating the total time and total speed for both X and Y axes. It then calculates the average speed for each axis by dividing the total speed by the total time and rounding to three decimal places. A console log statement at the bottom outputs the average speeds for both axes.

```
Js e2444.js
etudiant > JS e2444.js > startEyeTrackingInHomeGrid() > calculateAverageSpeed
53 function startEyeTrackingInHomeGrid() {
147 function calculateAverageSpeed() {
148   var totalSpeedX = 0;
149   var totalSpeedY = 0;
150   var totalTime = 0;
151
152   for (var i = 1; i < coordinates.length; i++) {
153     var coord = coordinates[i];
154     var prevCoord = coordinates[i - 1];
155
156     var deltaTime = coord.time - prevCoord.time;
157     totalTime += deltaTime;
158
159     totalSpeedX += coord.speedX * deltaTime;
160     totalSpeedY += coord.speedY * deltaTime;
161   }
162
163   averageSpeedX = (totalSpeedX / totalTime).toFixed(3);
164   averageSpeedY = (totalSpeedY / totalTime).toFixed(3);
165
166   //console.log("Vitesse moyenne sur l'axe X: " + averageSpeedX + ", sur l'axe Y: "
```

FIGURE 4.1 – Exemple d'utilisation du javascript.

### 4.2.3 Python

Python, langage open source en vogue, s'impose comme le choix privilégié des informaticiens pour la gestion d'infrastructures, l'analyse de données et le développement logiciel. Sa simplicité intuitive permet aux développeurs de se focaliser sur leurs tâches, affranchis des contraintes des langages plus anciens, accélérant ainsi le processus de développement. Python trouve ses applications principales dans : la programmation d'applications, la création de services web, la génération de code et la métaprogrammation [W8].

### 4.2.4 Bootstrap

Bootstrap est un framework CSS open-source qui facilite la création de sites web réactifs et élégants.

- Développé par Twitter en 2011, il est devenu l'un des outils web les plus populaires.
- Offre une large gamme de composants pré-construits, tels que des boutons, des formulaires, des menus et des tableaux.
- Permet de créer des sites web responsive rapidement et facilement, sans nécessiter de connaissances approfondies en CSS.
- Personnalisable via des thèmes, des styles et d'autres options, pour un design unique [W9] .

### 4.2.5 HTML

( HyperText Markup Language ) qui signifie "langage de balisage d'hypertexte", est un langage informatique utilisé sur Internet pour créer des pages web. Il permet de structurer des documents en utilisant des balises, facilitant ainsi la création de liens et de contenu hypertexte [W10].

### 4.2.6 CSS

CSS, qui signifie "feuilles de style en cascade", est un langage utilisé pour définir l'apparence des pages web créées avec HTML et XML. Il permet de contrôler des aspects visuels comme la mise en page, les couleurs, les polices et les espaces entre les éléments [W11].

## 4.3 Les outils de développement

### 4.3.1 Visual Studio Code

Visual Studio Code, un éditeur de code source léger et multiplateforme, s'installe sur votre ordinateur et vous accompagne dans vos projets de développement. Disponible sur Windows, macOS et Linux, il prend en charge nativement JavaScript, TypeScript et Node.js, et offre un riche panel d'extensions pour une prise en charge étendue de langages tels que C++, C, Java, Python, PHP et Go [W12] .

### 4.3.2 XAMPP

XAMPP est une application légère et multi-plateforme qui permet aux développeurs de créer un serveur web local ou un serveur FTP pour tester et déployer leurs projets. Elle comprend le serveur web Apache, MariaDB pour les bases de données, ainsi que les langages PHP et Perl. Avec XAMPP, vous pouvez exécuter la plupart des sites web et applications web directement à partir du logiciel. Il inclut également phpMyAdmin pour gérer les bases de données, le serveur de messagerie Mercury et le serveur JSP Tomcat [W13].

### 4.3.3 MySQL

MySQL est un système de gestion de bases de données relationnelles développé et soutenu par Oracle. Lancé en 1995, il a changé plusieurs fois de propriétaire avant d'être acquis par Oracle Corporation en 2010. Bien qu'Oracle soit maintenant responsable de MySQL, ce logiciel reste open source, ce qui signifie que vous pouvez l'utiliser et le modifier librement [W14] .

## 4.4 Présentation du Système

Ce chapitre présente en détail les différentes interfaces et fonctionnalités de notre système, structuré en trois espaces distincts : un pour les étudiants, un pour les enseignants et un pour les administrateurs.

### 4.4.1 Logo

Le logo «E-Track learning» est conçu pour refléter l'essence de l'éducation moderne et de la technologie.



FIGURE 4.2 – Logo du site.

#### 4.4.2 L'interface principale

La figure ci-dessous présente l'interface principale du système «E-Track Learning».

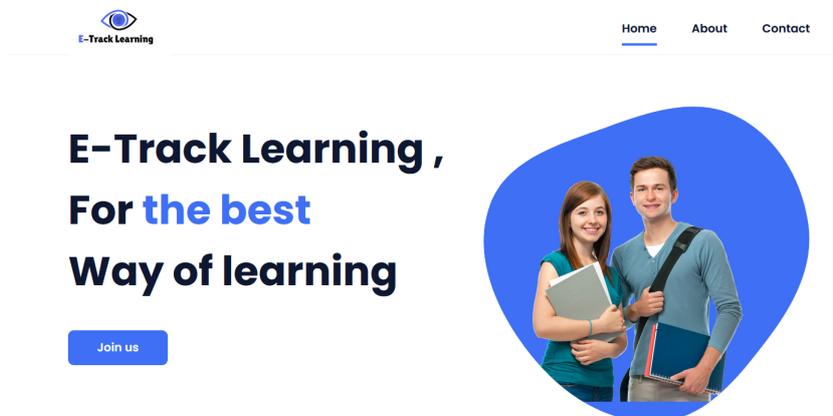


FIGURE 4.3 – L'interface principale du système.

#### 4.4.3 Connexion au système

Cette figure montre l'écran de connexion au système « E-Track Learning ».

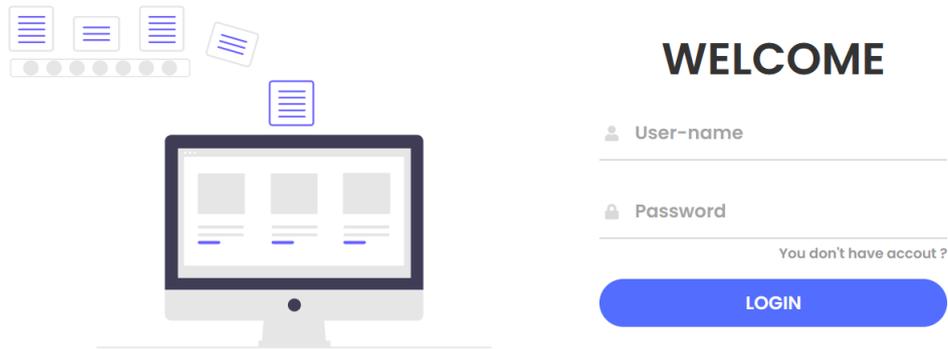


FIGURE 4.4 – La page de connexion des utilisateurs.

#### 4.4.4 Inscription au système

L'utilisateur, qu'il soit enseignant ou apprenant, peut créer un compte en entrant ses informations personnelles. Page d'inscription des étudiants :

FIGURE 4.5 – La page d'inscription des étudiants.

Page d'inscription des enseignants :

FIGURE 4.6 – La page d’inscription des enseignants.

#### 4.4.5 Les différents espaces du système

- **Espace administrateur**

L’administrateur peut accepter ou refuser les comptes utilisateurs (enseignants ou apprenants). Il peut également envoyer et recevoir des messages auprès des différents acteurs.

Situation	Name	Subject	Date	Actions
Seen	chorfa fatima Student	Subject :today	2024-02-09 23:36:48	
Not Seen Yet	bendjabar safia Teacher	Subject : cc	2024-02-17 20:30:25	
Not Seen Yet	bendjabar safia Teacher	Subject : seance	2024-03-06 13:20:20	

FIGURE 4.7 – La page d’accueil de l’espace administrateur.

Gestion des Comptes Étudiants ou Enseignants :

Cette figure illustre l’interface permettant d’accepter ou de rejeter des étudiants

Matricule	First Name	Last Name	Birth Date	Phone Number	Email	State	Confirm	Delete
19/36033599	romaissa	bouregghda	2001-05-22	663981456	roro123@gmail.com	Waiting for Admin	+	x
19/36033521	touahri	soundes	2002-07-07	663456890	touahri.soundes@gmail.com	Waiting for Admin	+	x
19/36033518	khleifia	salsabile	2002-02-11	662345671	bouamaza.nina@gmail.com	Waiting for Admin	+	x

FIGURE 4.8 – La page de confirmation des étudiants.

Cette figure illustre l'interface permettant d'accepter ou de rejeter des enseignants .

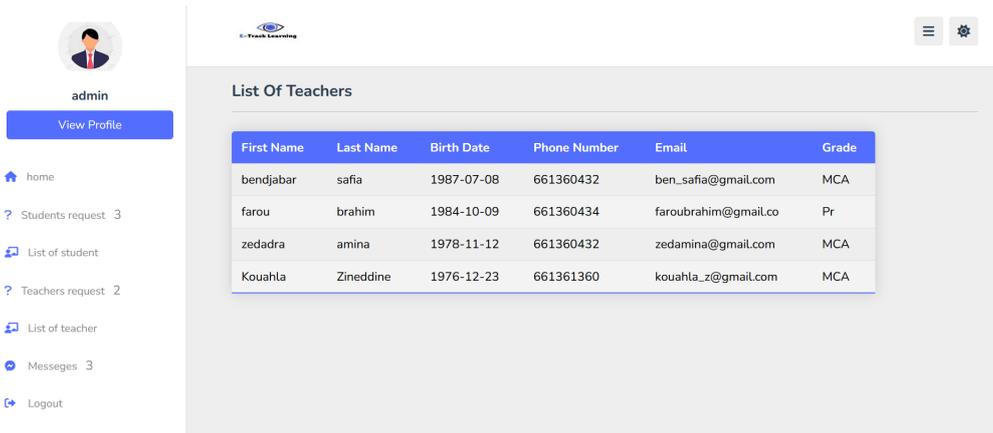
First Name	Last Name	Birth Date	Phone Number	Email	State	Confirm	Delete
Kouahla	Nadjib	1980-03-05	665154423	nadj01@gmail.com	Waiting for Admin	+	x
zedadra	ouarda	1984-04-23	662065431	zedadra.ouarda@gmail.com	Waiting for Admin	+	x

FIGURE 4.9 – La page de confirmation des enseignants.

Les deux figure suivante montre les liste des acteurs inscrit dans le système.

ID	First Name	Last Name	Birth Date	Phone Number	Email	Speciality
19/36039955	chorfa	fatima	1999-11-18	661360761	fati@gmail.com	Master 2 Stic
19/36039956	Bordjiba	bayarassou	1998-12-25	661360763	lwej@gmail.com	Master 2 Stic
19/36039922	Boudour	Rayane	1999-10-07	661360713	bdr_rayane@gmail.com	Master 2 Stic
18/36039913	menai	sara	2000-07-14	661360763	sara@gmail.com	Master 2 Stic
18/36039945	menai	madjeda	1999-05-22	661360432	madjeda@gmail.com	Master 2 Stic
18/36039947	soudani	aya	2000-11-24	661360763	aya_soudani@gmail.com	Master 2 Stic
19/36039958	Madi	Rayane	1999-09-02	661360431	madi_r@gmail.com	Master 2 Stic
18/36039933	benhamouda	khawla	2000-10-31	661360704	ben_khawla@gmail.com	Master 2 Stic
18/36039955	Zemouli	chayma	1999-11-29	661360439	zemoulichayma@gmail.com	Master 2 Stic

FIGURE 4.10 – Liste des étudiants.

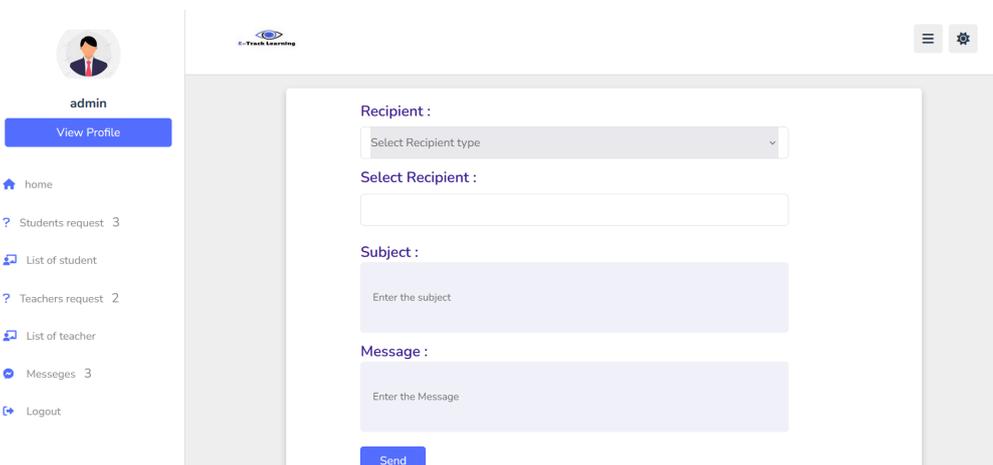


The screenshot shows the 'List Of Teachers' page. The sidebar on the left includes a user profile for 'admin' and navigation links: home, Students request (3), List of student, Teachers request (2), List of teacher, Messages (3), and Logout. The main content area displays a table with the following data:

First Name	Last Name	Birth Date	Phone Number	Email	Grade
bendjabar	safia	1987-07-08	661360432	ben_safia@gmail.com	MCA
farou	brahim	1984-10-09	661360434	faroubrahim@gmail.co	Pr
zedadra	amina	1978-11-12	661360432	zedamina@gmail.com	MCA
Kouahla	Zineddine	1976-12-23	661361360	kouahla_z@gmail.com	MCA

FIGURE 4.11 – Liste des enseignants.

L'interface suivante montre la messagerie de l'administrateur, permettant la communication avec d'autres utilisateurs (enseignants ou apprenants).



The screenshot shows the 'Send Message' page. The sidebar on the left is identical to the previous screenshot. The main content area contains a form with the following fields:

- Recipient :** A dropdown menu labeled 'Select Recipient type'.
- Select Recipient :** A text input field.
- Subject :** A text input field with the placeholder text 'Enter the subject'.
- Message :** A text input field with the placeholder text 'Enter the Message'.
- Send :** A blue button.

FIGURE 4.12 – La page d'envoi de message.

- **Espace enseignant**

L'espace enseignant offre aux enseignants la possibilité de déposer des cours et des tests pour leurs étudiants, enrichissant ainsi l'environnement d'apprentissage.

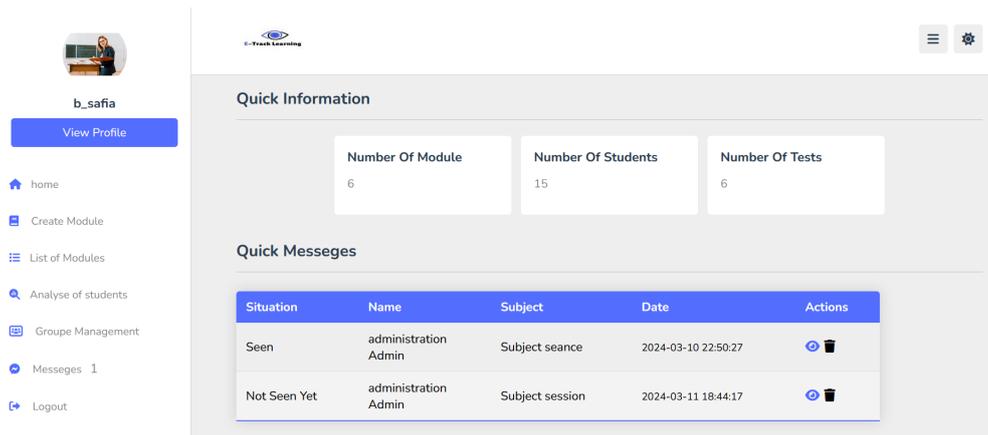


FIGURE 4.13 – La page d’accueil de l’espace enseignant.

Au sein de leur espace dédié, les enseignants bénéficient d’un accès facile et d’une modification simplifiée de leurs renseignements personnels.

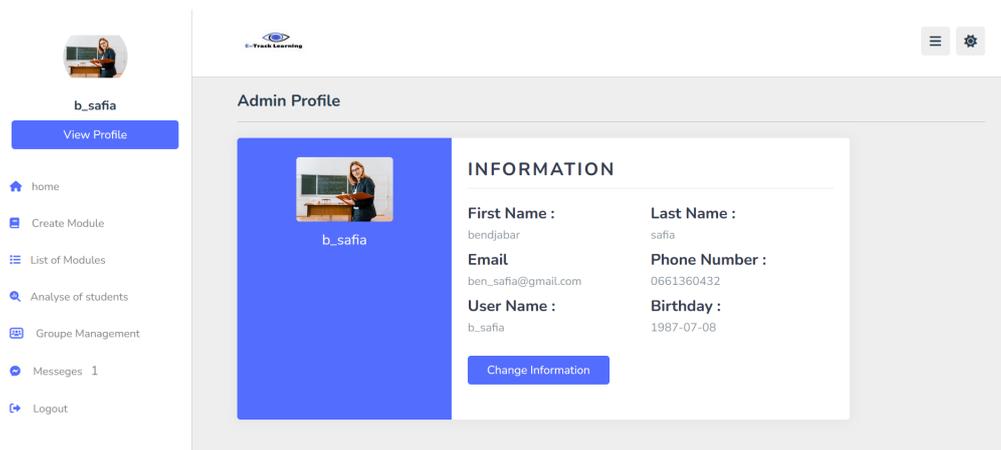


FIGURE 4.14 – Profil Personnel de l’enseignant.

Les enseignants disposent de la possibilité d’ajouter, de modifier ou de supprimer des modules, chacun pouvant contenir un ou plusieurs cours. Ils peuvent également ajouter, modifier ou supprimer des cours.

Name of Module	Number of Chapters	Coefficient	Speciality	list of Chapters	Add Chapter	Modify Module	Delete Module
Reconnaissance des formes et IA	8	3	Master 2 Stic		+	⚙️	🗑️
Bases de données avancées	5	4	Master 2 Stic		+	⚙️	🗑️
Intelligence Artificielle	4	2	Master 1 Siq		+	⚙️	🗑️
structure machine	2	3	Master 2 Stic		+	⚙️	🗑️
Maching learning	3	4	Master 2 Siq		+	⚙️	🗑️
Methode bio inspiré	6	2	Master 2 Stic		+	⚙️	🗑️

FIGURE 4.15 – Liste des modules.

Des tests peuvent être ajoutés, modifiés ou supprimés au sein de chaque cours

Name of Course	File	Type of chapter	Level	Duration of learning	See Tests	Add Test	Modify chapter	Delete chapter
Chapter1	../cour/4 LOGIQUE DES PERDICATS.pdf	3	1	1		+	⚙️	🗑️
chapitre2	../cour/1 Intelligence artificielle.pdf	1	2	1		+	⚙️	🗑️
chapitre3	../cour/8 Logique floue et Logiques multivaluées.pdf	1	1	2		+	⚙️	🗑️

FIGURE 4.16 – Liste des cours.

La figure suivante montre la liste des tests .

Name of the test	Date of the test	See Result of test	Delete test
TEST1	2024-04-25		🗑️
TEST2	2024-05-25		🗑️
TEST3	2024-06-18		🗑️

FIGURE 4.17 – Liste des tests.

La figure suivante montre la note des étudiants qui ont répondu au test.

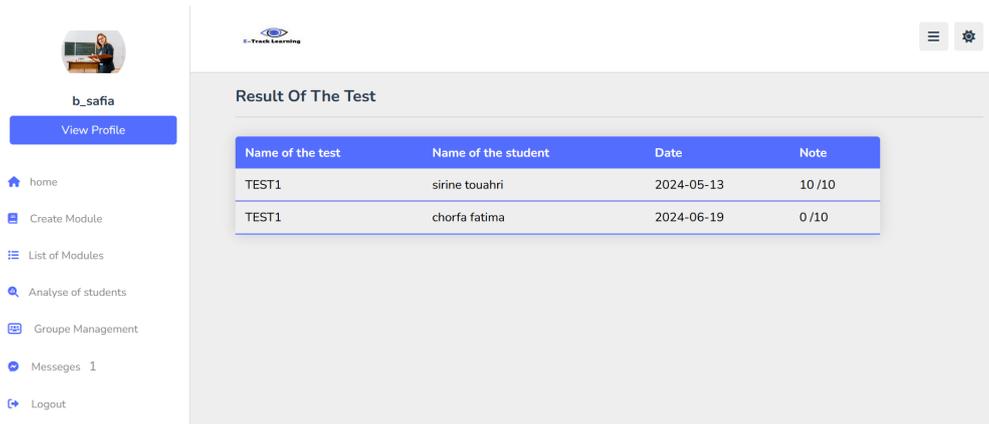


FIGURE 4.18 – Les notes des étudiants.

L’enseignant peut regrouper les étudiants selon leur spécialité.

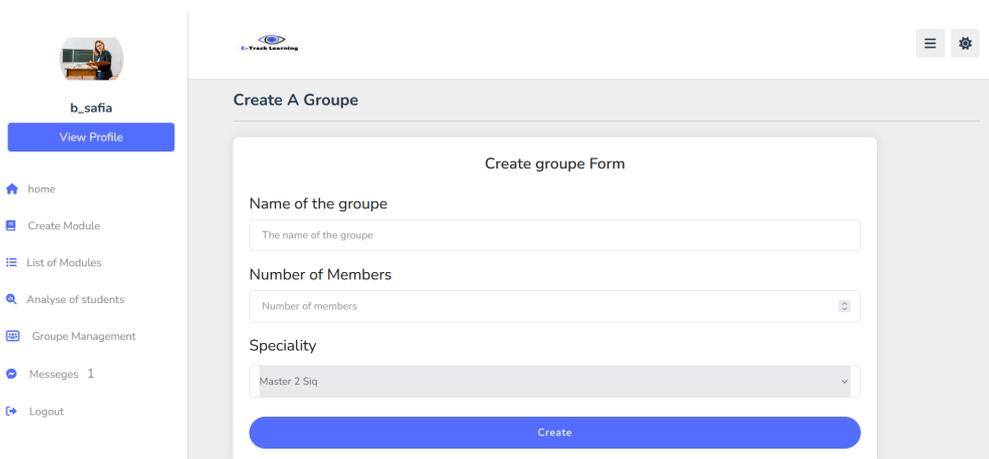


FIGURE 4.19 – La creation de groupe .



FIGURE 4.20 – List des groupes.

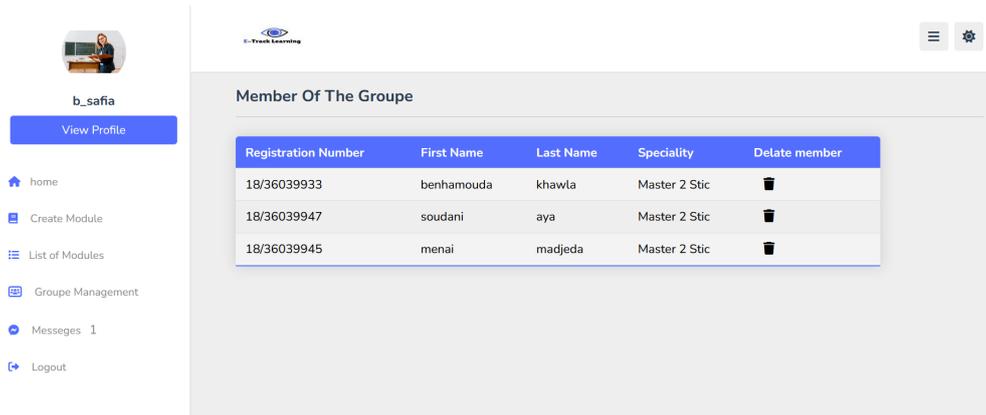


FIGURE 4.21 – Members de groupe.

Résultats de l’engagements pour chaque étudiant.

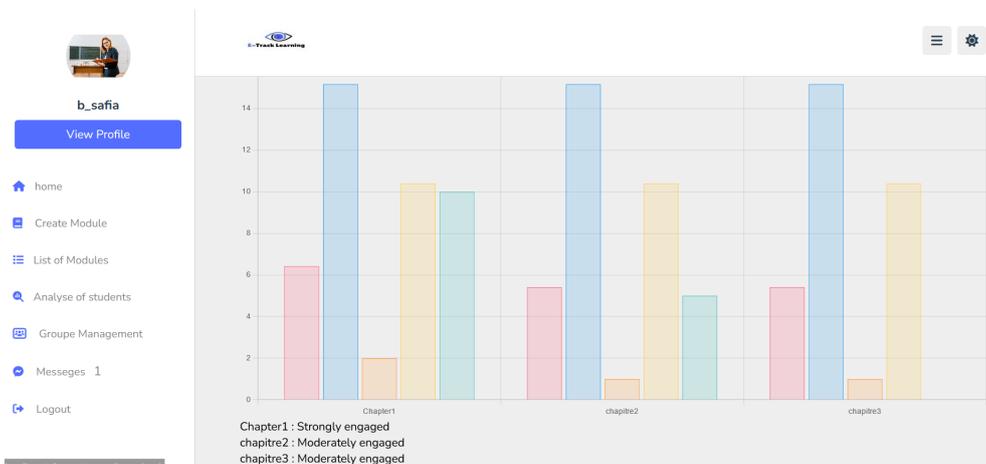


FIGURE 4.22 – Les résultats.

L’enseignant peut échanger avec d’autres utilisateurs (administrateur ou apprenant).

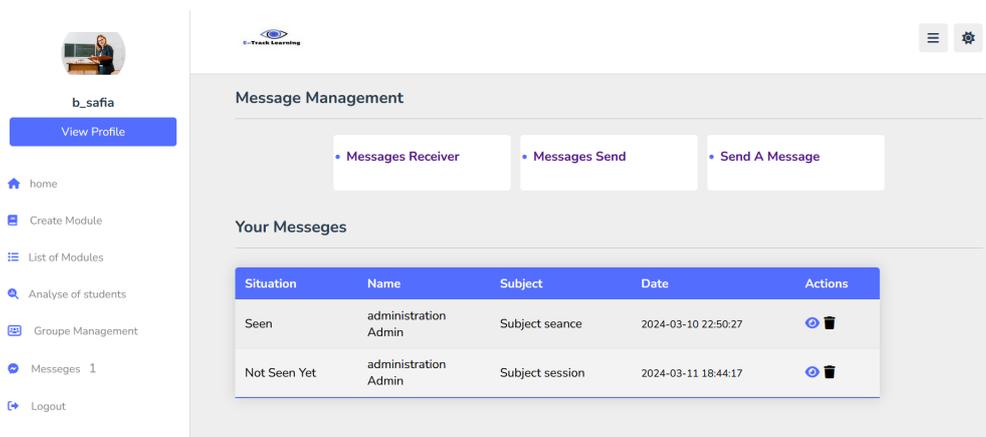
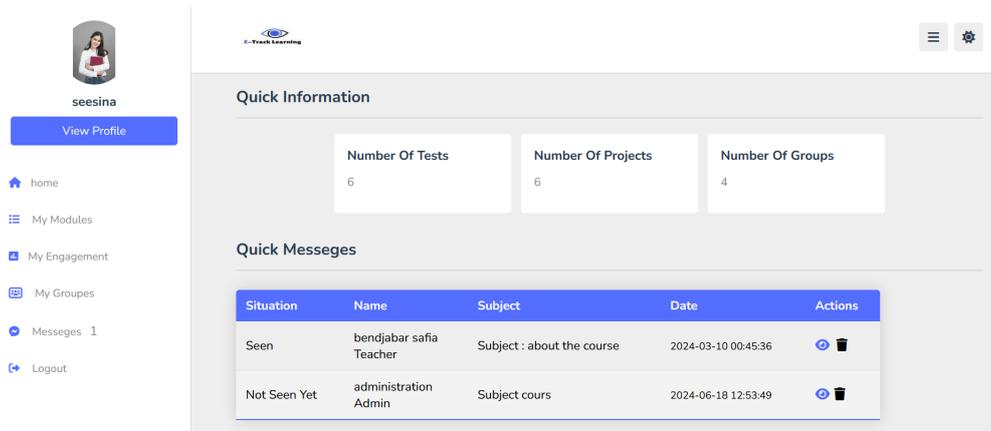


FIGURE 4.23 – La messagerie.

● Espace Etudiant

L'étudiant a la possibilité de consulter et de télécharger tous les cours, ainsi que de s'évaluer à l'aide d'une série de QCM pour déterminer son niveau.

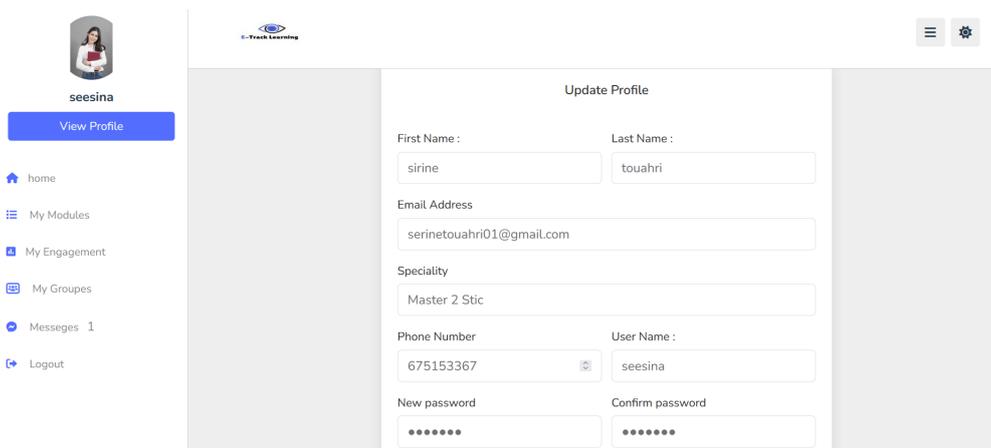


The screenshot shows the student dashboard for 'seesina'. On the left is a navigation menu with options: home, My Modules, My Engagement, My Groups, Messages 1, and Logout. The main content area is titled 'Quick Information' and displays three statistics: Number Of Tests (6), Number Of Projects (6), and Number Of Groups (4). Below this is a 'Quick Messages' section with a table of messages.

Situation	Name	Subject	Date	Actions
Seen	bendjabar safia Teacher	Subject : about the course	2024-03-10 00:45:36	
Not Seen Yet	administration Admin	Subject cours	2024-06-18 12:53:49	

FIGURE 4.24 – La page d'accueil de l'espace étudiant.

L'étudiant a la possibilité de consulter et de mettre à jour facilement ses informations personnelles.



The screenshot shows the 'Update Profile' form. The form fields are as follows:

- First Name :
- Last Name :
- Email Address :
- Speciality :
- Phone Number :
- User Name :
- New password :
- Confirm password :

FIGURE 4.25 – Modifie le Profil Personnel de l'étudiant.

L'étudiant a la possibilité de consulter la liste des modules de sa spécialité .

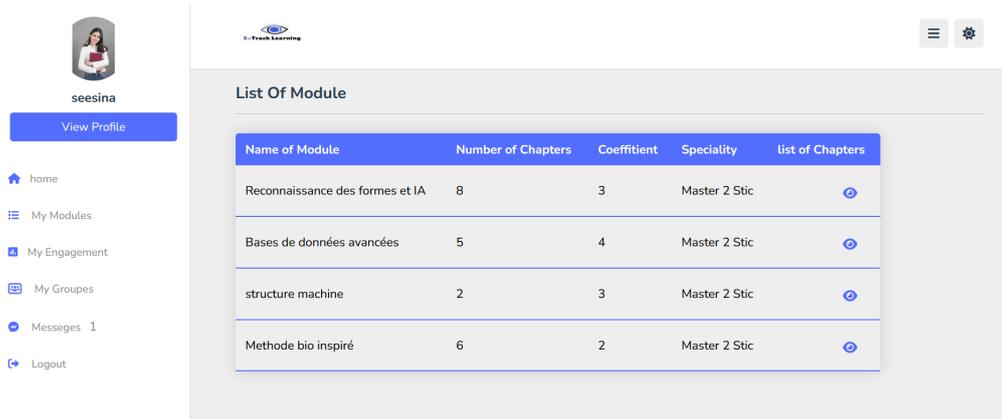


FIGURE 4.26 – Liste module .

Cette figure présente la liste des cours .

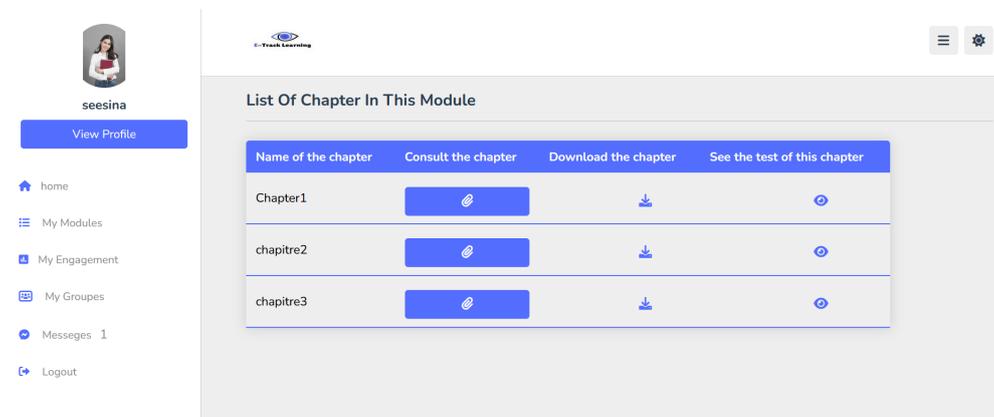


FIGURE 4.27 – La page de test.

La figure suivante présente un exemple de detection de suivi oculaire dans un cours .

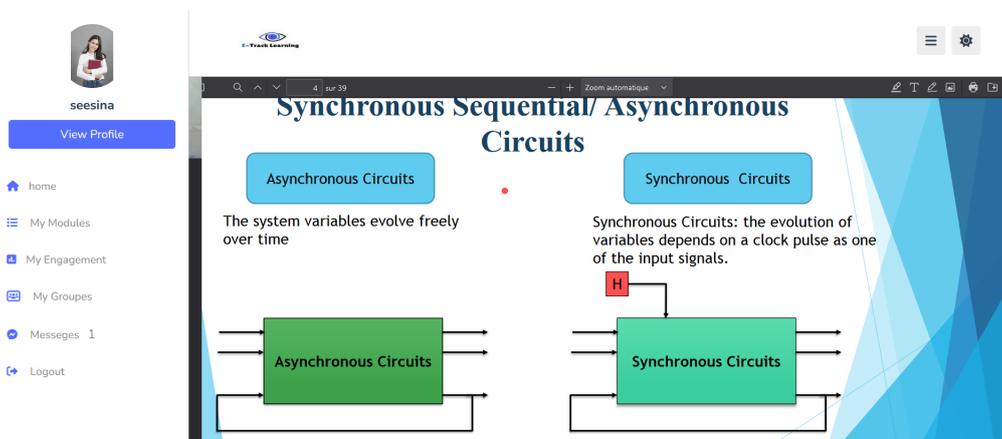


FIGURE 4.28 – Exemple de detection de suivi oculaire dans un cours.

Cette figure présente le test qui les étudiants passent.

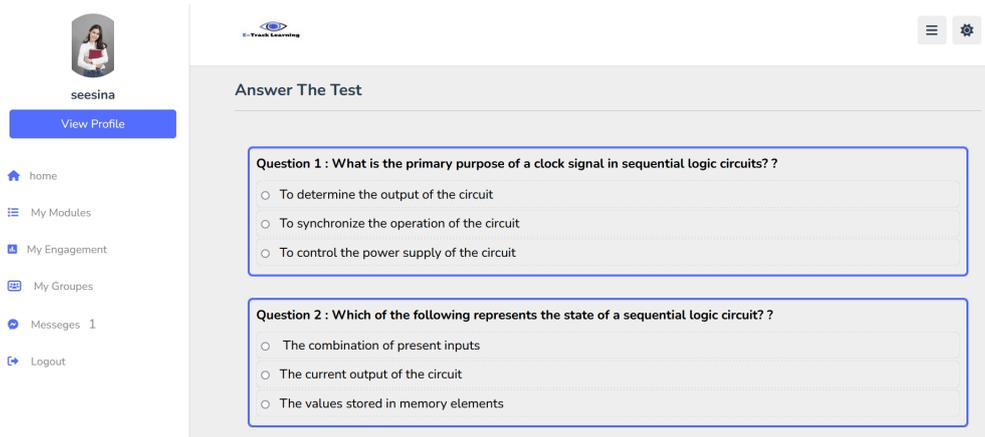


FIGURE 4.29 – La page de test.

Cette figure présente les notes des test de l'étudiant.

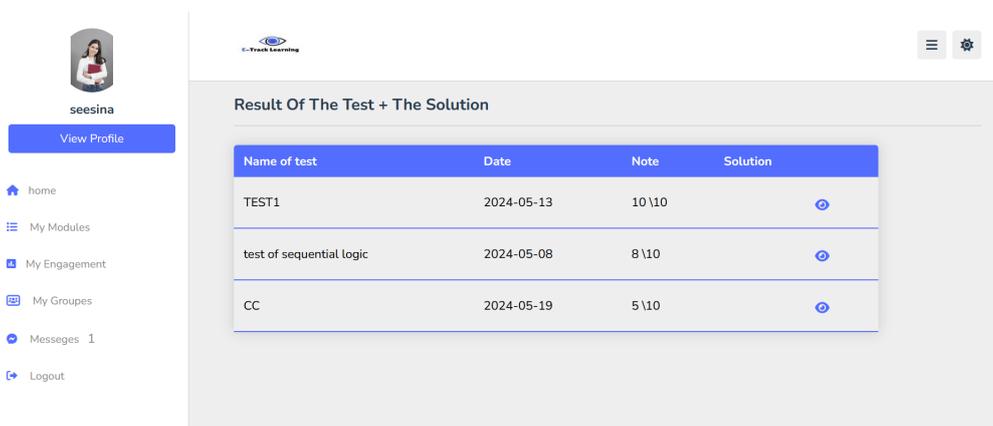


FIGURE 4.30 – Notes du tests .

L'étudiant peut aussi voir la solution du test.

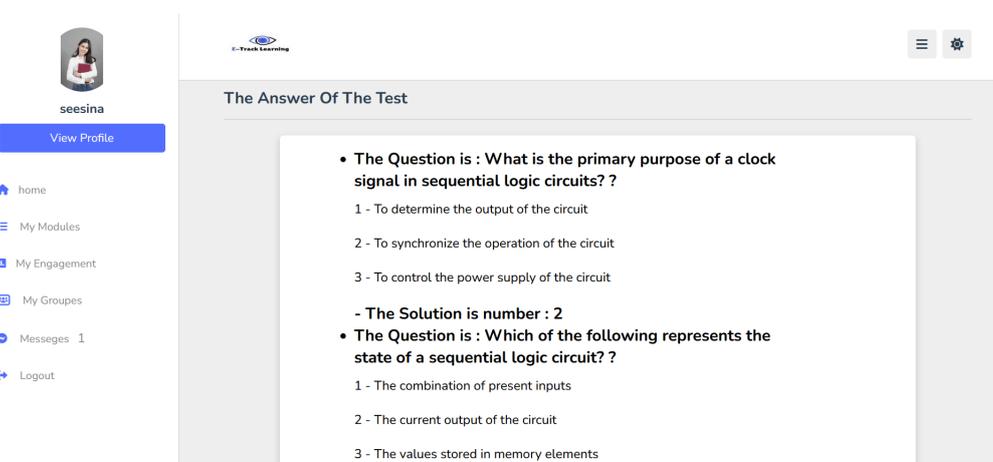


FIGURE 4.31 – La solution du test.

Liste des groupes auxquels appartient l'étudiant.

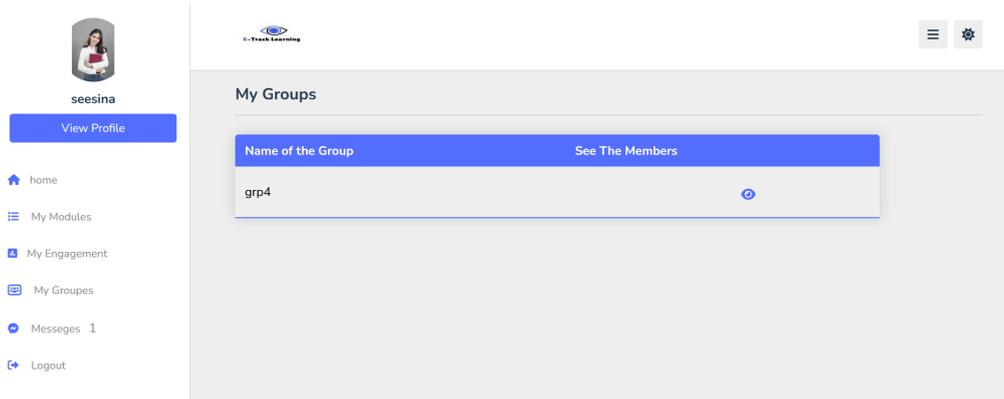


FIGURE 4.32 – Liste des groupes.

Le résultats de l’engagements de l’étudiants dans le module

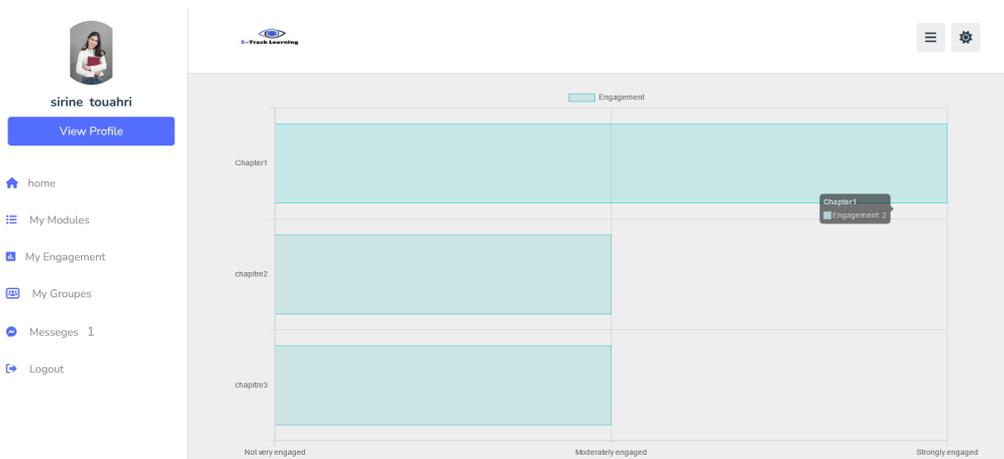


FIGURE 4.33 – Résultats de l’engagements.

L’étudiant peut communiquer avec d’autres utilisateurs (admin ou enseignant).

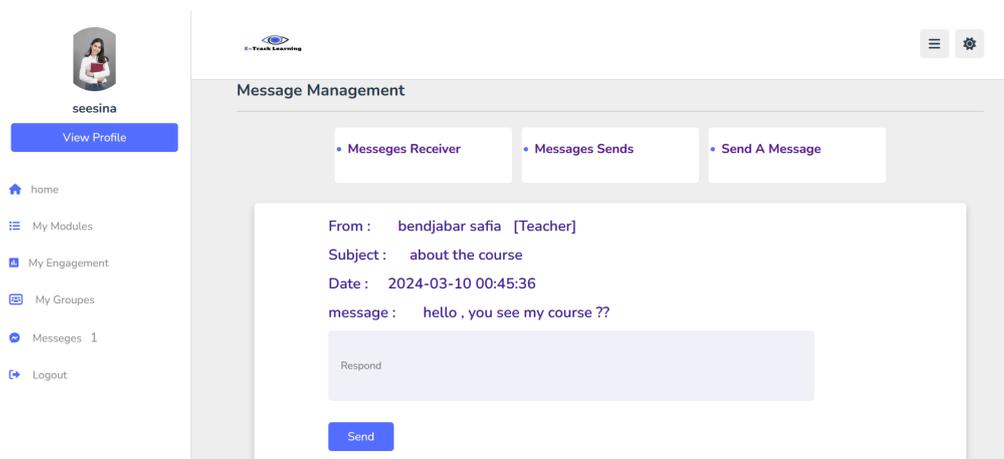


FIGURE 4.34 – Répondre a un message .

## 4.5 Expérimentations

Le cours de Structure machine, cursus obligatoire pour tous les étudiants de première année du Département de Mathématiques de l'Université de Guelma (Algérie). Il a été choisi afin d'évaluer la validité de l'approche proposée.

Cette expérimentation a pour but de voir l'impact de notre approche sur le niveau cognitif des apprenants. A la fin, nous avons diffusé un questionnaire (Voir Annexe) pour tester la qualité de la plateforme.

### Qualité de système

Après avoir utilisé le système, nous avons collecté et analysé les réponses des étudiants aux questionnaires qui leur ont été soumis. Concernant la qualité du système, les résultats montrent que la majorité des étudiants (plus de 80 %) ont apprécié utiliser le système en ligne. Seulement moins de 3 % des étudiants ont déclaré que ce système était insatisfaisant.

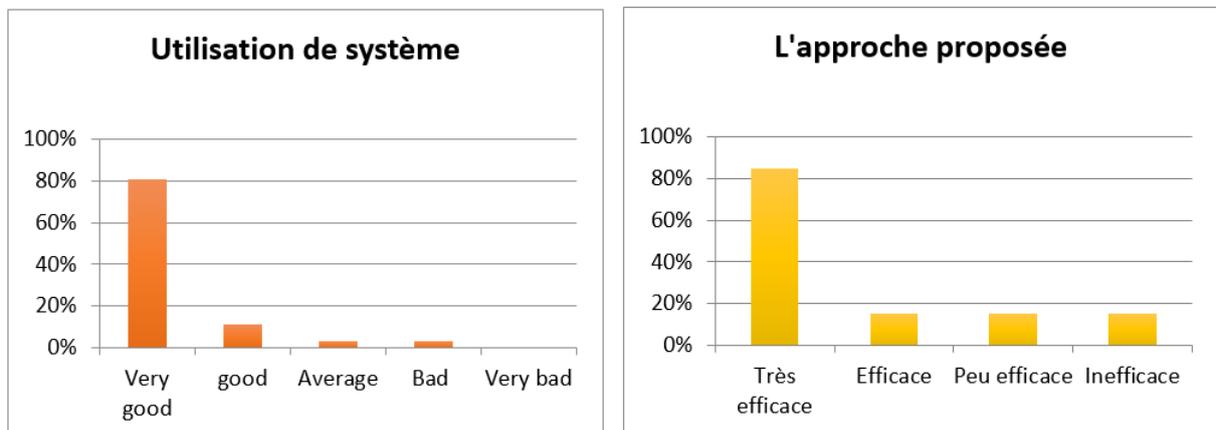


FIGURE 4.35 – Tests d'utilisation.

En termes d'efficacité de l'approche proposée, les résultats sont encourageants. En effet, 20 étudiants ont trouvé que l'utilisation de ce type de système est très efficace, tandis que 2 étudiants l'ont trouvée peu efficace [Bendjebar *et al.*, 2024a].

## 4.6 Conclusion

Le chapitre final explore en profondeur la phase de réalisation de l'application E-Track Learning. Il commence par présenter les outils logiciels indispensables qui ont facilité le développement, en mettant l'accent sur l'environnement de développement et les langages de programmation utilisés. Ensuite, il décrit en détail le système E-Track Learning, en exposant ses diverses fonctionnalités et en mettant en avant les différentes interfaces développées. Enfin, une partie d'expérimentation est consacrée à la démonstration de l'efficacité de l'approche adoptée, en expliquant les résultats et les avantages apportés par l'application.

# Conclusion générale

Dans le contexte de l'éducation en ligne, évaluer et améliorer l'engagement des étudiants est crucial. De ce fait, nous avons proposé une nouvelle approche de détection d'engagement des apprenants en prenant en compte différentes caractéristiques. Cette approche a été intégrée dans la plateforme «E-Track Learning» que nous avons développée. Ce modèle tire parti des données capturées lors des interactions des étudiants avec le contenu en ligne, ainsi que de leurs évaluations, et fournit des informations sur leurs niveaux d'attention pendant l'apprentissage. Un ensemble de mesures a été calculé. Des tableaux de bord ont été utilisés pour visualiser tous types d'interactions. En mettant en œuvre ce système, les éducateurs peuvent adapter leurs méthodes pédagogiques pour mieux répondre aux besoins de leurs étudiants, créant ainsi un environnement d'apprentissage plus efficace et engageant. En identifiant les apprenants non engagés, les enseignants peuvent fournir des interventions et un soutien opportuns pour améliorer l'engagement et les résultats d'apprentissage. Pour répondre aux questions posées dans l'introduction, la première questions, nous avons identifié les métriques de suivi oculaire les plus pertinentes pour mesurer l'attention et l'engagement des apprenants pendant les sessions d'apprentissage. La deuxième question vise à enrichir l'analyse de l'engagement des apprenants, nous avons combiné les données de suivi oculaire avec d'autres indicateurs d'interaction, afin de mieux comprendre et améliorer les expériences d'apprentissage en ligne.

En conclusion, nous pouvons affirmer que les premiers objectifs de ce travail ont été atteints. Un problème majeur rencontré lors de l'implémentation réside dans le fait que le modèle nécessite un débit de connexion élevé, ce qui pose des problèmes pour l'extraction des caractéristiques de suivi oculaire en temps réel. Parmi les perspectives à prendre en compte pour améliorer le fonctionnement du système, nous citons :

- Valider cette proposition dans un journal scientifique,
- Ajouter d'autres données pour améliorer la détection de l'engagement,
- Mener une nouvelle expérimentation pour analyser l'engagement des apprenants avec la plateforme, en tenant compte non seulement du contenu mais aussi des interactions entre pairs.
- Proposer un algorithme d'optimisation du suivi oculaire pour garder les informations les plus pertinentes.

# Bibliographie

- [Bendjebar *et al.*, 2023] BENDJEBAR, S., DJEBARNIA, N. E. I., MEHENAOU, Z. et LAFIFI, Y. (2023). Recommendation of pedagogical resources based on learners' profiles. *International Journal of Informatics and Applied Mathematics*, 6(1):1–10.
- [Bendjebar *et al.*, 2024a] BENDJEBAR, S., TOUAHRI, S., LAFFI, Y. et BOUGHIDA, A. (2024a). Eye-tracking in e-learning : Capturing learner attention with webgazer.js. Soumis dans une conférence internationale.
- [Bendjebar *et al.*, 2024b] BENDJEBAR, S., TOUAHRI, S., LAFFI, Y. et BOUGHIDA, A. (2024b). Student engagement detection and analysis using eye tracking. En cours de rédaction pour un journal.
- [Bitkina *et al.*, 2021] BITKINA, O. V., PARK, J. et KIM, H. K. (2021). The ability of eye-tracking metrics to classify and predict the perceived driving workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 86:103193.
- [Boardman et McCormick, 2022] BOARDMAN, R. et MCCORMICK, H. (2022). Attention and behaviour on fashion retail websites : an eye-tracking study. *Information Technology & People*, 35(7):2219–2240.
- [Borgestig *et al.*, 2021] BORGESTIG, M., AL KHATIB, I., MASAYKO, S. et HEMMINGSSON, H. (2021). The impact of eye-gaze controlled computer on communication and functional independence in children and young people with complex needs—a multicenter intervention study. *Developmental Neurorehabilitation*, 24(8):511–524.
- [Bosch, 2016] BOSCH, N. (2016). Detecting student engagement : Human versus machine. *In proceedings of the 2016 Conference on User Modeling Adaptation and Personalization*, pages 317–320.
- [Bote-Lorenzo et Gómez-Sánchez, 2017] BOTE-LORENZO, M. L. et GÓMEZ-SÁNCHEZ, E. (2017). Predicting the decrease of engagement indicators in a mooc. *In Proceedings of the Seventh international learning analytics & knowledge conference*, pages 143–147.
- [Buswell, 1935] BUSWELL, G. T. (1935). How people look at pictures : a study of the psychology and perception in art.
- [Card *et al.*, 1999] CARD, S. K., MACKINLAY, J. et SHNEIDERMAN, B. (1999). *Readings in information visualization : using vision to think*. Morgan Kaufmann.
- [Carter et Luke, 2020] CARTER, B. T. et LUKE, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*, 155:49–62.
- [Charoenpit et Ohkura, 2015] CHAROENPIT, S. et OHKURA, M. (2015). Exploring emotion in an e-learning system using eye tracking. *International Journal of Affective Engineering*, 14(4):309–316.

- [Chitra et Umamaheswari, 2018] CHITRA, K. et UMAMAHESWARI, R. (2018). Semantically enhanced personalised adaptive e-learning for general and dyslexia learners : An ontology based approach. *International Journal of Advanced Networking and Applications*, 10(1):3717–3723.
- [Christenson et Anderson, 2002] CHRISTENSON, S. L. et ANDERSON, A. R. (2002). Commentary : The centrality of the learning context for students' academic enabler skills. *School Psychology Review*, 31(3):378–393.
- [Clow, 2013] CLOW, D. (2013). An overview of learning analytics. *Teaching in Higher Education*, 18(6):683–695.
- [Coco, 2022] COCO, M. I. (2022). Eye-tracking : Measurements and applications.
- [Coffrin et al., 2014] COFFRIN, C., CORRIN, L., DE BARBA, P. et KENNEDY, G. (2014). Visualizing patterns of student engagement and performance in moocs. In *Proceedings of the fourth international conference on learning analytics and knowledge*, pages 83–92.
- [Cowen et al., 2002] COWEN, L., BALL, L. J. et DELIN, J. (2002). An eye movement analysis of web page usability. In *People and Computers XVI-Memorable yet Invisible : Proceedings of HCI 2002*, pages 317–335. Springer.
- [Cummins, 2017] CUMMINS, R. G. (2017). Eye tracking. *The International Encyclopedia of Communication Research Methods (1-9)*. Texas Tech University, USA. <https://doi.org/10.1002/9781118901731.iecrm0099>.
- [Dewan et al., 2019] DEWAN, M., MURSHED, M. et LIN, F. (2019). Engagement detection in online learning : a review. *Smart Learning Environments*, 6(1):1–20.
- [Dodge et Cline, 1901] DODGE, R. et CLINE, T. S. (1901). The angle velocity of eye movements. *Psychological Review*, 8(2):145.
- [Drusch et al., 2014] DRUSCH, G., BASTIEN, J. et PARIS, S. (2014). Analysing eye-tracking data : From scanpaths and heatmaps to the dynamic visualisation of areas of interest. *Advances in science, technology, higher education and society in the conceptual age : STHESCA*, 20(205):25.
- [El Haddioui, 2019] EL HADDIOUI, I. (2019). Eye tracking applications for e-learning purposes : An overview and perspectives. *Cognitive Computing in Technology-Enhanced Learning*, pages 151–174.
- [Fredricks et al., 2004] FREDRICKS, J. A., BLUMENFELD, P. C. et PARIS, A. H. (2004). School engagement : Potential of the concept, state of the evidence. *Review of educational research*, 74(1):59–109.
- [Grann et Bushway, 2014] GRANN, J. et BUSHWAY, D. (2014). Competency map : Visualizing student learning to promote student success. In *Proceedings of the fourth international conference on learning analytics and knowledge*, pages 168–172.
- [Guo et al., 2014] GUO, P. J., KIM, J. et RUBIN, R. (2014). How video production affects student engagement : An empirical study of mooc videos. In *Proceedings of the first ACM conference on Learning@ scale conference*, pages 41–50.
- [Hammoud, 2008] HAMMOUD, R. I. (2008). *Passive eye monitoring : Algorithms, applications and experiments*. Springer Science & Business Media.
- [Holmqvist et al., 2011] HOLMQVIST, K., NYSTRÖM, M., ANDERSSON, R., DEWHURST, R., JARODZKA, H. et Van de WEIJER, J. (2011). *Eye tracking : A comprehensive guide to methods and measures*. oup Oxford.

- [Huey, 1908] HUEY, E. B. (1908). The psychology and pedagogy of reading : With a review of the history of reading and writing and of methods, texts, and hygiene in reading.
- [Kaiser et Oertel, 2006] KAISER, R. et OERTEL, K. (2006). Emotions in hci : an affective e-learning system. *In ACM International Conference Proceeding Series*, volume 237, pages 105–106.
- [Kim et al., 2015] KIM, J., THOMAS, P., SANKARANARAYANA, R., GEDEON, T. et YOON, H.-J. (2015). Eye-tracking analysis of user behavior and performance in web search on large and small screens. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(3):526–544.
- [Kort et al., 2001] KORT, B., REILLY, R. et PICARD, R. W. (2001). An affective model of interplay between emotions and learning : Reengineering educational pedagogy-building a learning companion. *In Proceedings IEEE international conference on advanced learning technologies*, pages 43–46. IEEE.
- [Lalmas et al., 2022] LALMAS, M., O'BRIEN, H. et YOM-TOV, E. (2022). *Measuring user engagement*. Springer Nature.
- [Lamborn et al., 1992] LAMBORN, S., NEWMANN, F. et WEHLAGE, G. (1992). The significance and sources of student engagement. *Student engagement and achievement in American secondary schools*, pages 11–39.
- [Leony et al., 2012] LEONY, D., PARDO, A., de la FUENTE VALENTÍN, L., de CASTRO, D. S. et KLOOS, C. D. (2012). Glass : a learning analytics visualization tool. *In Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge*, pages 162–163.
- [Lim et al., 2020] LIM, J. Z., MOUNTSTEPHENS, J. et TEO, J. (2020). Emotion recognition using eye-tracking : taxonomy, review and current challenges. *Sensors*, 20(8):2384.
- [Liu, 2014] LIU, P.-L. (2014). Using eye tracking to understand learners' reading process through the concept-mapping learning strategy. *Computers & Education*, 78:237–249.
- [Martin et Bolliger, 2018] MARTIN, F. et BOLLIGER, D. U. (2018). Engagement matters : Student perceptions on the importance of engagement strategies in the online learning environment. *Online learning*, 22(1):205–222.
- [Mehenaoui, 2018] MEHENAOU, Z. (2018). Recommandation de collaborateurs pertinents dans un environnement d'apprentissage collaboratif. *Thse de doctorat en sciences. Universit Badji Mokhtar-Annaba, Algrie*.
- [Moore, 1989] MOORE, M. G. (1989). Three types of interaction.
- [Nugrahaningsih et al., 2021] NUGRAHANINGSIH, N., PORTA, M. et KLAŠNJA-MILIĆEVIĆ, A. (2021). Assessing learning styles through eye tracking for e-learning applications. *Computer Science and Information Systems*, 18(4):1287–1309.
- [Pace, 1984] PACE, C. R. (1984). Measuring the quality of college student experiences. an account of the development and use of the college student experiences questionnaire.
- [Peraya, 2019] PERAYA, D. (2019). Les learning analytics en question. panorama, limites, enjeux et visions d'avenir. *Distances et médiations des savoirs. Distance and Mediation of Knowledge*, (25).

- [Pirot et De Ketele, 2000] PIROT, L. et DE KETELE, J.-M. (2000). L’engagement académique de l’étudiant comme facteur de réussite à l’université étude exploratoire menée dans deux facultés contrastées. *Revue des sciences de l’éducation*, 26(2):367–394.
- [Płużyczka, 2018] PŁUŻYCZKA, M. (2018). The first hundred years : A history of eye tracking as a research method. *Applied Linguistics Papers*, (25/4):101–116.
- [Poole et Ball, 2006] POOLE, A. et BALL, L. J. (2006). Eye tracking in hci and usability research. In *Encyclopedia of human computer interaction*, pages 211–219. IGI global.
- [Rahal et Fiedler, 2019] RAHAL, R.-M. et FIEDLER, S. (2019). Understanding cognitive and affective mechanisms in social psychology through eye-tracking. *Journal of Experimental Social Psychology*, 85:103842.
- [Rakoczi, 2014] RAKOCZI, G. (2014). *Analysis of eye movements in the context of E-learning : recommendations for eye-efficient user interfaces*. Thèse de doctorat, Technische Universität Wien.
- [Reschly et Christenson, 2022] RESCHLY, A. L. et CHRISTENSON, S. L. (2022). *Handbook of research on student engagement*. Springer.
- [Robinault, 2021] ROBINAULT, L. (2021). *Détection et suivi d’objets mobiles par caméras fixes*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- [Russell, 1980] RUSSELL, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6):1161.
- [Salvucci et Goldberg, 2000] SALVUCCI, D. D. et GOLDBERG, J. H. (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications*, pages 71–78.
- [Sharma et al., 2019] SHARMA, P., ESENGÖNÜL, M., KHANAL, S. R., KHANAL, T. T., FILIPE, V. et REIS, M. J. (2019). Student concentration evaluation index in an e-learning context using facial emotion analysis. In *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education : First International Conference, TECH-EDU 2018, Thessaloniki, Greece, June 20–22, 2018, Revised Selected Papers 1*, pages 529–538. Springer.
- [Thomas et Jayagopi, 2017] THOMAS, C. et JAYAGOPI, D. B. (2017). Predicting student engagement in classrooms using facial behavioral cues. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI international workshop on multimodal interaction for education*, pages 33–40.
- [Ujbanyi et al., 2016] UJBANYI, T., KATONA, J., SZILADI, G. et KOVARI, A. (2016). Eye-tracking analysis of computer networks exam question besides different skilled groups. In *2016 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, pages 000277–000282. IEEE.
- [Valtakari et al., 2021] VALTAKARI, N. V., HOOGE, I. T., VIKTORSSON, C., NYSTRÖM, P., FALCK-YTTER, T. et HESSELS, R. S. (2021). Eye tracking in human interaction : Possibilities and limitations. *Behavior Research Methods*, pages 1–17.
- [Vargas-Cuentas et al., 2017] VARGAS-CUENTAS, N. I., ROMAN-GONZALEZ, A., GILMAN, R. H., BARRIENTOS, F., TING, J., HIDALGO, D., JENSEN, K. et ZIMIC, M. (2017). Developing an eye-tracking algorithm as a potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children. *PloS one*, 12(11):e0188826.

- [Vo et Ho, 2024] VO, H. et HO, H. (2024). Online learning environment and student engagement : the mediating role of expectancy and task value beliefs. *The Australian educational researcher*, pages 1–25.
- [Wang et al., 2006] WANG, H., CHIGNELL, M. et ISHIZUKA, M. (2006). Empathic tutoring software agents using real-time eye tracking. *In Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications*, pages 73–78.
- [Welling et Thomson, 2009] WELLING, L. et THOMSON, L. (2009). *PHP et MySQL*. Pearson Education France.
- [Wheeler, 2012] WHEELER, S. (2012). e-learning and digital learning. *In Encyclopedia of the sciences of learning*, pages 1109–1111. Springer New York.
- [Wong, 2017] WONG, B. T. M. (2017). Learning analytics in higher education : an analysis of case studies. *Asian Association of Open Universities Journal*, 12(1):21–40.
- [Wu et al., 2017] WU, S., RIZOIU, M.-A. et XIE, L. (2017). Beyond views : Measuring and predicting engagement on youtube videos. *arXiv preprint arXiv :1709.02541*.
- [Yarbus, 2013] YARBUS, A. L. (2013). *Eye movements and vision*. Springer.
- [Yoo et al., 2015] YOO, Y., LEE, H., JO, I.-H. et PARK, Y. (2015). Educational dashboards for smart learning : Review of case studies. *In Emerging issues in smart learning*, pages 145–155. Springer.
- [Țichindelean et al., 2021] ȚICHINDELEAN, M., ȚICHINDELEAN, M. T., CETINĂ, I. et ORZAN, G. (2021). A comparative eye tracking study of usability—towards sustainable web design. *Sustainability*, 13(18):10415.

# Webographie

- [W1] , [https://eyeware.tech/fr\\_fr/blog/quest-ce-que-loculometrie/](https://eyeware.tech/fr_fr/blog/quest-ce-que-loculometrie/), 2001, Dernier accès au site : 02/04/2024
- [W2] , <https://www.inserm.fr/dossier/autisme/>, Dernier accès 09/02/2024
- [W3] , <https://ludotic.com/leye-tracking-en-pratique-un-exemple-concret/>, Dernier accès au site : 09/02/2024.
- [W4] , <https://www.skeelbox.com/eye-tracking/>, Dernier accès 09/02/2024.
- [W5] , <https://er.educause.edu/articles/2021/7/show-students-their-data-using-das> Dernier accès 29/04/2024.
- [W6] , <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203597-php-hypertext-preprocessor-definition/>, Dernier accès au site : 30/05/2024 .
- [W7] , <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/JavaScript>, Dernier accès au site : deniere accer 2/06/2024.
- [W8] , <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1445304-python-definition-et-utilisation-de-ce-langage-informatique/>, Dernier accès au site : 15/06/2024.
- [W9] , <https://fr.localo.com/marketing-dictionary/what-is-bootstrap>, Dernier accès au site : 14/06/2024.
- [W10] , <http://glossaire.infowebmaster.fr/html/>, Dernier accès au site : 15/06/2024 .
- [W11] , <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>, Dernier accès au site : 15/06/2024 .
- [W12] , <https://code.visualstudio.com/docs>, Dernier accès au site : 15/06/2024 .
- [W13] , <https://www.lesnumeriques.com/telecharger/xampp-20290>, Dernier accès au site : 15/06/2024 .
- [W14] , <https://kinsta.com/fr/base-de-connaissances/qu-est-ce-que-mysql/>, Dernier accès au site : 15/06/2024 .

# Annexe

C'est un questionnaire sur la qualité de notre système E-track learning, essaye de nous répondre et de nous donner votre avis sur notre plateforme.

- **Question 1** : Votre Sexe :

- Homme
- Femme.

- **Question 2** : Comment trouvez-vous l'utilisation de ce système ? :

- Très Facile.
- Facile.
- Difficile.
- Très Difficile.

- **Question 3** : Comment évaluez-vous l'efficacité du système ? :

- Très efficace
- Efficace
- Peu efficace .
- Inefficace

- **Question 4** :Comment trouvez-vous l'interface du système ? :

- Très Bonne
- Bonne.
- Moyenne.
- Très simple

- **Question 5** : Quels aspects de la plateforme trouvez-vous les plus utiles ? :

- Facilité d'utilisation.
- Contenu des cours.
- Interaction avec les enseignants et les autres étudiants.
- Flexibilité d'accès aux cours.
- Outils d'évaluation et de suivi de la progression.
- Autre (préciser).....

- **Question 6** : Quels aspects de la plateforme pourraient être améliorés ? :

- Interface utilisateur.
- Qualité du contenu des cours.
- Communication avec les enseignants
- Fonctionnalités d'interaction sociale

- Gestion des évaluations et des devoirs
- Autre (préciser).....
- **Question 7** : Quels sont les points faibles de ce système ? : .....
- **Question 8** : Avez-vous d'autres commentaires ou suggestions pour améliorer la plateforme d'apprentissage en ligne ? : .....